

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Vlastnosti a mikrostruktura
modelových pásem tepelně ovlivněné
oblasti oceli P92**

Properties and Microstructure of
Modeled Heat Affected Zone of Steel
P92

Student:	Bc. Zuzana Sojáková
Vedoucí diplomové práce:	doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zuzana Sojáková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Vlastnosti a mikrostruktura modelovaných pásem tepelně ovlivněné oblasti oceli P92**
Properties and Microstructure of Modeled Heat Affected Zone of Steel P92
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii týkající se vlastností, použití a svařitelnosti oceli P92.
2. Zpracujte přehled v současnosti dostupných teplotních simulátorů.
3. Zpracujte studii metody svařování 141.
4. Proved'te modelování tepelně ovlivněné oblasti jednovrstvého svaru (141) na simulátoru teplotních cyklů.
5. Na simulovaných vzorcích proved'te mikrostrukturní analýzu a měření mechanických vlastností.
6. Vyhodnoťte dosažené výsledky a vyslovte závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

VODÁREK, V. *Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12)% Cr ocelí*. monografie VŠB – TUO, Ostrava: VŠB - TUO, 2003. 163 s. ISBN 80-248-0329-1
KOUKAL, J. a kol. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů 9%Cr modifikovaných žárupevných ocelí*. VŠB – TUO, Ostrava, 2011, ISBN 978-80-248-2474-1
MOHYLA, P., HLAVATÝ, I., HRUBÝ, J., KREJČÍ, L. Investigation of Heat Affected Zone of Steel P92 Using the Thermal Cycle Simulator. *WASET International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*. Vol. 11, No. 6, 2017, s. 460-463. DOI:10.1999/1307-6892/10007432.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

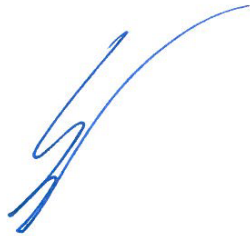
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. 5. 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sojka', is written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. 5. 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zuzana Sojáková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bušín 10,
789 62 Olšany

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sojáková, Z. *Vlastnosti a mikrostruktura modelových pásem tepelně ovlivněné oblasti oceli P92: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 65 s. Vedoucí práce: Mohyla, P.

Diplomová práce se zabývá tepelně ovlivněnou oblastí svarového spoje oceli P92, s využitím teplotního simulátoru. Teoretická část této práce je zaměřena na studii oceli P92 a uvádí v současnosti dostupné teplotní simulátory. V této části je také popsána svařovací metoda 141. Předmětem zkoumání experimentální práce je tepelně ovlivněná oblast, simulovaná na vzorcích pomocí teplotního simulátoru, jenž se nachází na VŠB – TU v Ostravě. Takto připravené vzorky byly následně testovány zkouškou rázem v ohybu a zkouškou tvrdosti. U vzorků dále proběhla kontrola makrostruktury a mikrostruktury.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Sojáková, Z. *Properties and Microstructure of Modeled Heat Affected Zone of Steel P92: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 65 p. Thesis head: Mohyla, P.

The Master Thesis deals with the Heat Affected Zone of Steel P92, simulated on the thermal cycle simulator. The theoretical part of this thesis is focused on the study of steel P92 and study of currently available thermal cycle simulators. In this section is also described welding method 141. The subject of the experimental work is the heat affected zone, simulated on samples using a thermal cycle simulator, which is located on VŠB – TU in Ostrava. These prepared samples were subsequently tested by the impact test and hardness test. Macrostructure and microstructure of the samples was analyzed as well.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
1. ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
2. Ocel P92	10
2. 1 Chemické složení oceli P92	11
2. 1. 1 Vliv jednotlivých chemických prvků na strukturu oceli P92 [8]	11
2. 2 Mechanické vlastnosti	13
2. 3 Tepelné zpracování oceli P92	14
2. 4 Svařitelnost oceli P92	15
3. Přehled současných dostupných termo-mechanických simulátorů	18
3. 1 Termo-mechanický simulátor VŠB	18
3. 1. 1 Popis zařízení	18
3. 1. 2 Technické parametry [28]	19
3. 2 Termo-mechanický simulátor 810 Material Test System	20
3. 2. 1 Technické parametry [29]	22
3. 3 Termo-mechanický simulátor GLEEBLE 3800-GTC	23
3. 3. 1 Technické parametry	25
4. Metoda svařování 141	26
4. 1 Princip metody	26
4. 2 Svařovací proudy	27
4. 2. 1 Stejnosměrný proud	27
4. 2. 2 Střídavý proud [25]	27
4. 2. 3 Svařování impulsním proudem	28
II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
5. Experimentální práce	30
5. 1 Experimentální materiál	30
5. 2 Popis modelování teplotních cyklů na simulátoru	31
5. 3 Zkoušky rázem v ohybu	33

5. 3. 1 Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu.....	35
5. 4 Zkoušky tvrdosti	35
5. 4. 1 Vyhodnocení zkoušek tvrdosti	39
5. 5 Makrostruktura	39
5. 6 Mikrostruktura.....	43
5. 6. 1 Mikrostruktura vzorku č. 2 – bez tepelného zpracování	44
5. 6. 2 Mikrostruktura vzorku č. 14 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 2 h.....	46
5. 6. 3 Mikrostruktura vzorku č. 22 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 4 h.....	48
5. 6. 4 Mikrostruktura vzorku č. 6 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 6 h.....	50
5. 6. 5 Vyhodnocení mikrostruktury	52
6. Závěr	53
7. Použitá literatura	55
8. Seznam příloh.....	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
M_s	teplota martenzit start	[°C]
M_f	teplota martenzit finish	[°C]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
A_5	tažnost	[%]
KV	nárazová práce	[J]
A_{c3}	teplota konce austenitické přeměny při ohřevu	[°C]
A_{c1}	teplota počátku austenitické přeměny při ohřevu	[°C]
HV10	tvrdost dle Vickerse při zatížení 98,07 N	[-]
I_z	základní proud	[A]
I_p	impulsní proud	[A]
AC/DC	Stejnoseměrný / střídavý proud	[A]

1. ÚVOD

Modifikované žárovevné oceli jsou speciálně vyvíjeny pro zařízení energetického průmyslu. Důležitou vlastností této oceli je schopnost zachovávat mechanické vlastnosti při vysokých teplotách. Proto se používají pro navrhování a výrobu součástí pro tato zařízení, jako jsou například kotlové bubny, sběrače, skříně, rotory turbín, potrubní systémy a další. K těmto ocelím patří i ocel P92, která je použita jako experimentální materiál v této diplomové práci.

Teoretická část se dále zabývá tepelně-mechanickými simulátory. Tato zařízení jsou speciálně vyvinuta pro modelování rychlých a složitých termomechanických procesů. Díky nim je možné simulovat deformační a teplotní strategii zpracování s vysokým stupněm podobnosti s reálným procesem na zkušebních vzorcích. Jedna z firem, která tyto simulátory nabízí, se jmenuje Dynamic Systems Inc. Jeden z jejích nejvýkonnějších fyzikálních simulátorů je Gleeble 3800-GTC.

Pro simulování tepelně ovlivněné oblasti na vzorcích je použit termo-mechanický simulátor, který byl zkonstruován na Vysoké škole báňské – technické univerzitě Ostrava. Tento teplotní simulátor je určen pro fyzikální simulace teplotních křivek na kovových vzorcích. V této diplomové práci jsou použity vzorky z oceli P92, na kterých bude provedena mikrostrukturní analýza a měření mechanických vlastností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

2. Ocel P92

Modifikované, žárovevné oceli jsou využívány hlavně v energetickém průmyslu, pro své schopnosti zachovat dané mechanické vlastnosti za zvýšené teploty. [2] Další výhodnou schopností materiálu je dlouhodobě pracovat při vysokých teplotách, což je hlavním požadavkem. To má také přímý vliv na provozní spolehlivost a bezpečnost energetických i petrochemických zařízení. [4, 5] Z těchto ocelí jsou navrhovány součásti a komponenty energetických zařízení, jako například kotlové bubny, kotlové sběrače, skříně a rotory turbín nebo potrubní systémy a další. V provozu pak pracují za vysokých teplot, kde teplota páry dosahuje 600 °C a tlaku 25 – 30 MPa. [6, 7] Zvýšením výkonu dojde ke zvýšení účinnosti zařízení za současného snížení emisí CO₂.

Ocel P92 je modifikovaná žárovevná ocel s 9 % Cr. Byla vyvinuta v Japonsku v 90. letech 20. století s původním označením podle výrobce Nippon Steel Corporation NF616. Obchodní označení je pak X10CrWMoVNb9-2. [1]

Při vývoji této oceli se vycházelo z oceli P91. Oproti ní však obsahuje o 1,8 % W více, obsah Mo byl pak snížen z 1 % na 0,5 %. [9] Dále je legována niobem a bórem. Přidání těchto prvků bylo za účelem zvýšení odolnosti proti tečení. Při srovnání pak má až o 25 – 30 % vyšší pevnost za zvýšených teplot. [4] V porovnání s ocelí P91 obsahuje jen velmi malé množství dusíku (~0,02 %), čímž je potlačena vazba bóru na dusík. Malá rychlost hrubnutí částic M₂₃C₆, jenž úzce souvisí s rozpouštěním atomů bóru v dané fázi, pozitivně ovlivňuje mikrostrukturální stabilitu. [8]

Ocel P92 je jedna z nejpoužívanějších při výstavbě moderních energetických zařízení. Používá se u sekundárních ohříváčů v elektrárnách s nadkritickými parametry. Používá se na výrobu tlustostěnných trubek o velkých průměrech, komory a parovody pracujících při extrémních podmínkách, teplotních i tlakových. [10]

2. 1 Chemické složení oceli P92

V tabulce č. 1 je uvedeno chemické složení oceli P92 a pro porovnání i chemické složení jejího předchůdce oceli P91.

Tab. 1 - Chemické složení oceli P92 a P91 v % [3]

Ocel	C	Mn	P	S	Si	Cr	W
P91	0,08-0,12	0,3-0,6	0,02	0,01	0,2-0,5	8-9,5	n.s.
P92	0,07-0,13	0,3-0,6	0,02	0,01	0,5	8,5-9,5	1,5-2

Mo	V	Nb (Cb)	N	B	Al	Ni
0,85-1,05	0,18-0,25	0,06-0,1	0,03-0,07	n.s.	0,04	0,4
0,3-0,6	0,15-0,25	0,04-0,09	0,03-0,07	0,001-0,006	0,04	0,4

n.s.: nespecifikováno

2. 1. 1 Vliv jednotlivých chemických prvků na strukturu oceli P92 [8]

C – Uhlík

Zvyšováním množství uhlíku v oceli vzrůstá její žárupevnost, a tím dojde ke zhoršení tvárnosti a svařitelnosti. Klesají teploty rozpadu austenitu, včetně teplot M_s a M_f . Z toho důvodu se ocel P92 a jiné žárupevné oceli vyrábí s nižším obsahem C do 0,1 %. Ocel je pak dolegovaná dusíkem [8, 11]

N – Dusík

Ten zvyšuje žáropevné vlastnosti. Je-li však překročena mez 0,07 % dochází k degradaci žárupevných vlastností. [8]

Mn – Mangan

V oceli se ho používá jen velmi malé množství, protože snižuje transformační teploty a negativně ovlivňuje úroveň chemické heterogenity oceli. Ve struktuře oceli netvoří samostatnou sekundární fázi a je velice významným dezoxidačním činidlem. [8]

P – Fosfor, S – Síra

Nízkým obsahem fosforu a síry zajišťujeme metalurgickou čistotu oceli. Zároveň však nízký obsah síry negativně ovlivňuje její svařitelnost. [11]

Si – Křemík

Zlepšuje odolnost oceli proti oxidaci. Negativně však ovlivňuje heterogenitu ingotů. Křemík také zvyšuje popouštěcí křehkost. Atomy křemíku jsou menší než atomy železa a to vyvolává zpevnění tuhého roztoku. [8]

Cr – Chrom

Je základním prvkem žárupevných ocelí. S vyšším obsahem chromu, se zvyšuje odolnost oceli proti oxidaci, vysokou afinitou chromu ke kyslíku a následnou tvorbou oxidických filmů na povrchu oceli a to až do teploty 700 °C. Během popouštění se tvoří nejvýznamnější karbidy $M_{23}C_6$, jež ovlivňují úroveň žárupevnosti. [8, 11]

Mo – Molybden

Molybden zpevňuje tuhý roztok. V oceli je však použito nižší množství tohoto prvku, což příznivě ovlivňuje nižší rychlost precipitace Lavesovy fáze. [11]

W – Wolfram

Wolfram, stejně jako molybden, zpevňuje tuhý roztok při zvýšených teplotách. Matrici však zpevňuje výrazněji. Jeho vyšší obsah v oceli urychluje tvorbu Lavesovy fáze, což má za následek velkou rychlost hrubnutí. [11]

V – Vanad

Podporuje tvorbu velmi jemné precipitace částicemi typu MX. Intenzita precipitace je ovlivněna množstvím dusíku obsaženého v oceli. Intenzita precipitace také závisí na parametrech tepelného zpracování a creepové expozici. [12]

Nb – Niob

V průběhu tepelného zpracování brání růstu austenitických zrn. Podporuje i precipitační zpevnění tuhého roztoku částicemi MX. [12]

B – Bór

Obsahuje-li ocel jen malé množství bóru, má pozitivní vliv na žárupevné vlastnosti i na odolnost proti zkřehnutí. [8] V karbidech je nahodile rozprostřen. Do karbidů se dostává z hranic zrn, ze kterých difunduje. Pro dobrou houževnatost, tvářitelnost a svařitelnost, se doporučuje použít 0,001 – 0,006 % B. Přesná funkce bóru v oceli zatím není zjištěna. [11]

Al – Hliník

Protože se používá jako dezoxidační přísada, je jeho množství u oceli s obsahem dusíku omezeno na minimum. U této oceli má negativní vliv na žárupevnost. [12]

Ni – Nikl

Je velmi austenitotvorný prvek. V oceli zpevňuje tuhý roztok a zvyšuje tvrdost martenzitu. Z hlediska žárupevnosti má negativní vliv na stabilitu karbidické fáze. [11]

2. 2 Mechanické vlastnosti

V tabulce č. 2 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti oceli P92. [3] Ty jsou ovlivněny jejím chemickým složením, množstvím legujících prvků, jenž dodávají oceli P92 její speciální mechanické vlastnosti. Modifikované 9 – 12 % chromové oceli se používají ve stavu normalizačně žíhaném a popouštěném nebo ve stavu kaleném a popouštěném neboli zušlechťeném. Po tomto tepelném zpracování je mikrostruktura tvořena popouštěným martenzitem. [13]

Tab. č. 2 – Mechanické vlastnosti oceli P92 [14]

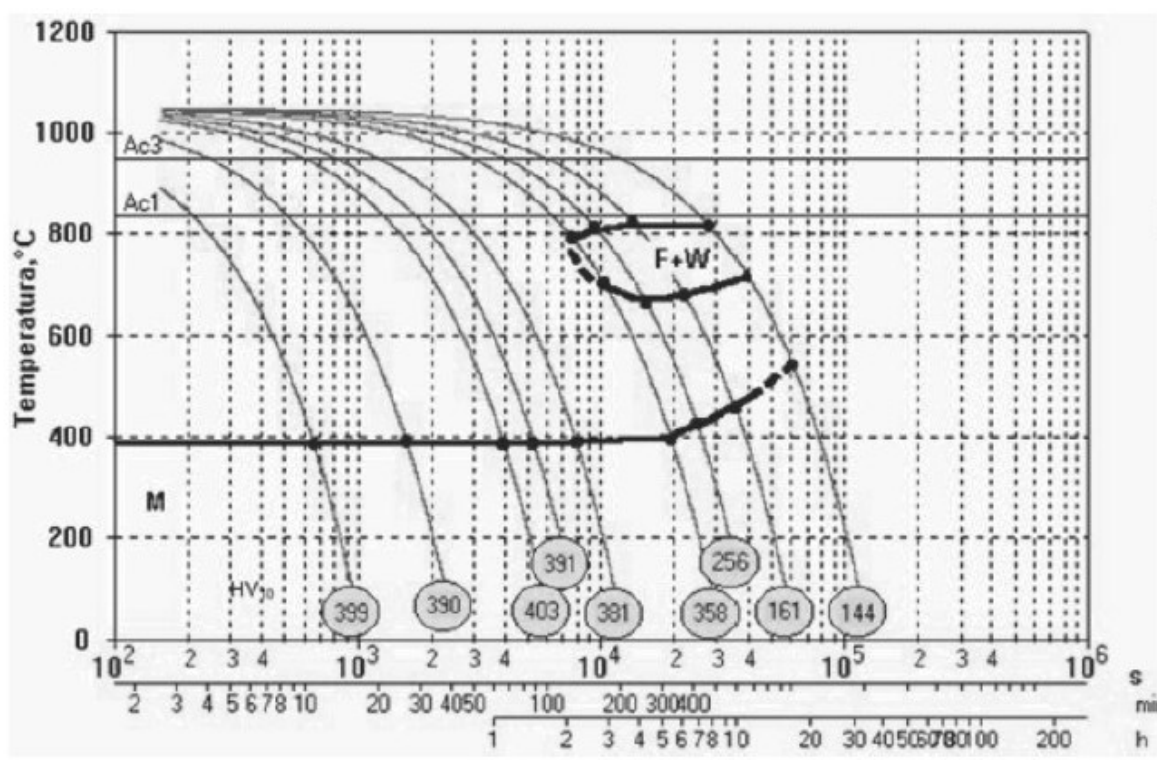
Ocel	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]		KV [J]	
			podélně	napříč	podélně	napříč
P92	min. 440	620-850	min.	min.	min.	min.
			19	17	40	27

2. 3 Tepelné zpracování oceli P92

U modifikovaných ocelí s 9 – 12 % Cr, mezi které patří předmětná ocel P92, spočívá tepelné zpracování především v normalizačním žíhání a vysokoteplotním popouštění. [15]

Normalizační žíhání – austenitizace je prováděna v rozmezí teplot 30 – 50 °C nad teplotou A_{c3} , tedy v rozmezí teplot 1020 – 1100 °C. Teplota se volí tak, aby byly rozpuštěny nitridy, karbidy a také karbonitridy. Přitom však není patrný výraznější nárůst zrn austenitu. Při volbě teploty se musí dbát na to, aby nedošlo k tvorbě δ -feritu, jelikož nepodléhá fázové přeměně při ochlazování a také nepříznivě působí na křehko-lomové vlastnosti oceli. [11] U ocelí s obsahem až 0,5 hm. % Nb se doporučuje teplota austenitizace 1150 °C. Modifikované oceli s 9 – 12 % Cr jsou zcela prokalitelné na vzduchu do velkých tloušťek materiálu. To zajišťuje vysoký obsah uhlíku a dalších legujících prvků. Tím se posouvají křivky rozpadu austenitu k delším časům. Ochlazováním na vzduchu vznikne u těchto ocelí martenzitická struktura, přesněji laťkový martenzit. [14, 16, 17]

Vysokoteplotní popouštění – pohybuje se v rozmezí teplot 730 – 780 °C nebo těsně pod teplotou A_{c1} . Použitá teplota je závislá na požadovaných vlastnostech a chemickém složení oceli. V průběhu popouštění pak dochází k vylučování karbidů. Ty mají největší vliv na žárupevné vlastnosti těchto ocelí. [14, 16, 17] Popouštěním se dosáhne mikrostruktury vysoce popouštěného martenzitu, stabilní karbidické fáze, zvýšené hustoty dislokací a požadované tvrdosti. [11]



Obr. č. 1 – ARA diagram oceli P92 [12]

Z ARA diagramu je patrné, že při chladnutí oceli z austenizační teploty k pokojové teplotě dochází ve struktuře k celkové transformaci na martenzitickou strukturu. Z ARA diagramu je patrné, že pokud chceme dosáhnout čistě martenzitické struktury, musí být doba chladnutí nižší než 2×10^4 s.

2. 4 Svařitelnost oceli P92

Jelikož jsou žárupevné oceli používány pro výrobu jednotlivých komponentů energetických zařízení, je potřeba, aby měla ocel dobrou svařitelnost. Tedy dobré vlastnosti pro vytváření nerozebíratelných spojů. [11, 18] Svařitelnost materiálu ovlivňuje řada aspektů, jako chemické složení, metalurgické a fyzikální vlastnosti materiálu, typ konstrukce. [19] Zapotřebí je použít odpovídající přídavný materiál, způsob a odpovídající technologii svařování pro danou ocel. Dalšími faktory jsou např. teplotní režimy použité při svařování, technika kalení jednotlivých vrstev i tepelné zpracování, což má zásadní význam pro požadovanou kvalitu spoje. [11, 18]

Ocel P92 má dobrou svařitelnost, při dodržení důležitých technologických opatření. Zásadní vliv má obsah uhlíku a vodíku. Obsah uhlíku v základním kovu by měl být přibližně stejný, jako ve svarovém kovu. To je důvodem menšího poklesu žárupevnosti svarového kovu oproti základnímu materiálu. Kvůli přítomnosti martenzitické struktury oceli a rychlosti

difuze vodíku v ní je důležité použít přídavné materiály, jenž mají podobné chemické složení a nízký obsah vodíku do 5 ml/100g svarového kovu. Důležité je provádět kontrolu obsahu vodíku ve svarovém kovu a dodržovat doporučení výrobce o správném sušení přídavných materiálů. Jejich teplota po řádném vysušení by neměla klesnout pod 80 °C. [11, 8]

Pro zachování žárupevnosti by měl přídavný materiál obsahovat alespoň 0,05 hm. % dusíku a limitované množství hliníku. Maximální obsah niobu je 0,05 hm. %. Obsah niklu ve svarovém kovu je doporučen nižší, než obsahuje základní materiál. Vyšší množství by mělo za následek zvýšení hodnot nárazové práce svarového kovu při delší době výdrže na popouštěcí teplotě. Výskyt δ -feritu při použití přídavných materiálů pro homogenní svarové spoje oceli P92 je do 1 %. [11, 8]

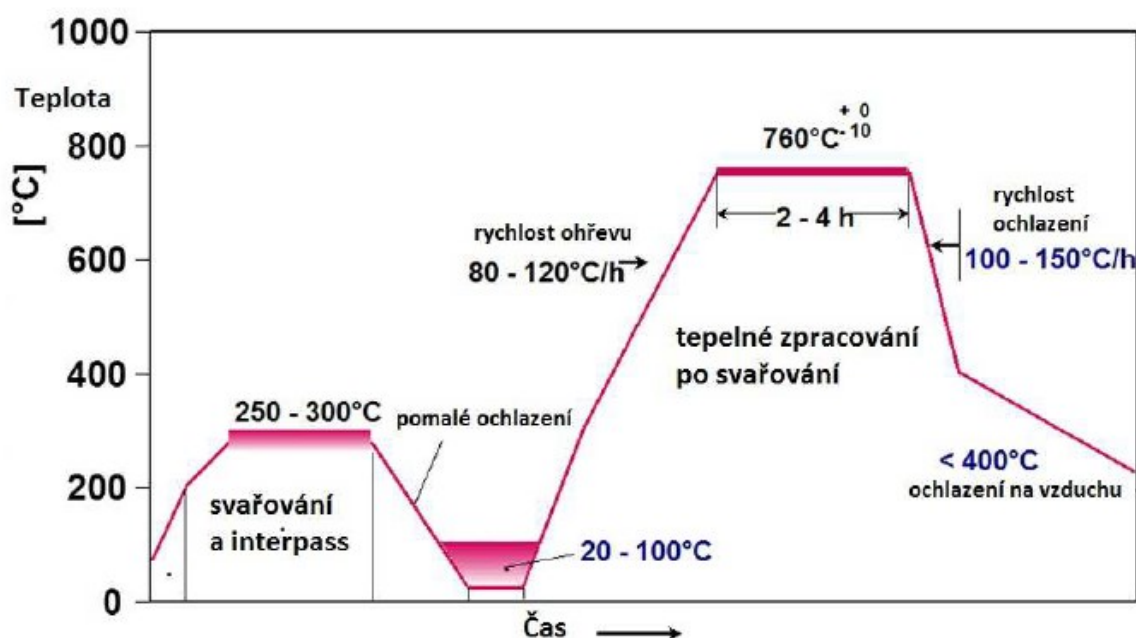
Tyto oceli se mohou svařovat v popouštěném, žíhaném, zušlechtěném nebo tvrdém stavu. Předchozí tepelné zpracování svařovaného materiálu nemá vliv na zakalení tepelně ovlivněné oblasti (TOO) i svarového kovu. Ocel P92 i ostatní martenzitické oceli zásadně svařujeme s předeheřevem. [20] U oceli P92 i u P91 se doporučuje teplota předeheřevu v rozmezí 200 – 300 °C s ohledem na tloušťku základního materiálu. Důležité je kontrolovat i teplotu interpass a ta by neměla překročit teplotu 350 °C. [11] Běžně se teplota interpass pohybuje v rozmezí teplot 280 – 300 °C. [14]

Po skončení svařování je důležité svarové spoje oceli P92 tepelně zpracovat, aby nedošlo ke vzniku nežádoucích strukturálních fází. Tyto strukturální fáze mají velmi špatný vliv na stabilitu v průběhu creepové expozice. Z toho důvodu je nutné neustále kontrolovat teplotu tepelného zpracování i složení svarového kovu s ohledem na obsah Ni a Mn. [14,21] Ocel P92 se tepelně zpracovává popouštěním při teplotě 740 – 750 °C. Doba popouštění je volena od 2 do 4 hodin s ohledem na použitý přídavný materiál a podle požadovaných hodnot nárazové práce KV a tvrdosti HV10. Podle toho je také volena případná změna výše popouštěcí teploty. [14]

Pokud není bezprostředně po svařování provedeno tepelné zpracování, je nutné aplikovat dohřev. Účelem dohřevu je snížení obsahu difuzního vodíku. Teploty pro dohřev se volí v rozmezí 200 – 300 °C a to po dobu minimálně 2 hodin. Pokud jsou svařovány materiály větších tloušťek, je zapotřebí zvolit horní hranici této teploty a zároveň prodloužit dobu dohřevu. [11] Důležitou úlohu hraje teplota M_f . Ta se pohybuje okolo hodnoty 100 °C. Pod tuto teplotu se musí svařenec pomalu ochlazovat, předtím než se zahájí náběh na popouštěcí teplotu. Tím dojde k ukončení martenzitické transformace. [14]

Důležitá je také volba vhodného tepelného příkonu při svařování. Tepelný příkon pak při svařování ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti svarového kovu i TOO. Tepelný příkon ovlivňuje náchylnost ke vzniku tepelných trhlin ve svarovém kovu v závislosti na hloubce tavné lázně a vnějšího tvarového faktoru svaru. Náchylnost na vznik trhlin stoupá, čím je ve svarovém kovu tvarový faktor svarové lázně menší a hloubka svarové lázně větší. [11]

Ocel P92 je náchylná na nízkoteplotní žíhací praskavost, proto musí být ohřev a ochlazování této oceli prováděn pomalu. Doporučený teplotní režim je zobrazen na obrázku č. 2. Výdrž na popouštěcí teplotě závisí na tloušťce svařovaného materiálu a použitém přídatném materiálu. [22]



Obr. č. 2 – Teplotní režim v průběhu svařování a tepelného zpracování oceli P92 [22]

3. Přehled současných dostupných termo-mechanických simulátorů

V dnešní době je kladen velký důraz na kvalitu výroby s co nejmenšími výrobními náklady. Pokud by se takové výzkumy a optimalizace měly provádět na výrobní lince, bylo by to velmi časově náročné a nákladné. K tomuto účelu byly vyvinuty termomechanické simulátory, díky nimž je možné simulovat tváření, svařování i tepelné zpracování.

Tato nově vyvinutá metodologie umožňuje dosáhnout velmi dobré shody mezi laboratorními simulacemi a výsledky z reálného výrobního procesu díky přesnému způsobu řízení. [32]

3. 1 Termo-mechanický simulátor VŠB

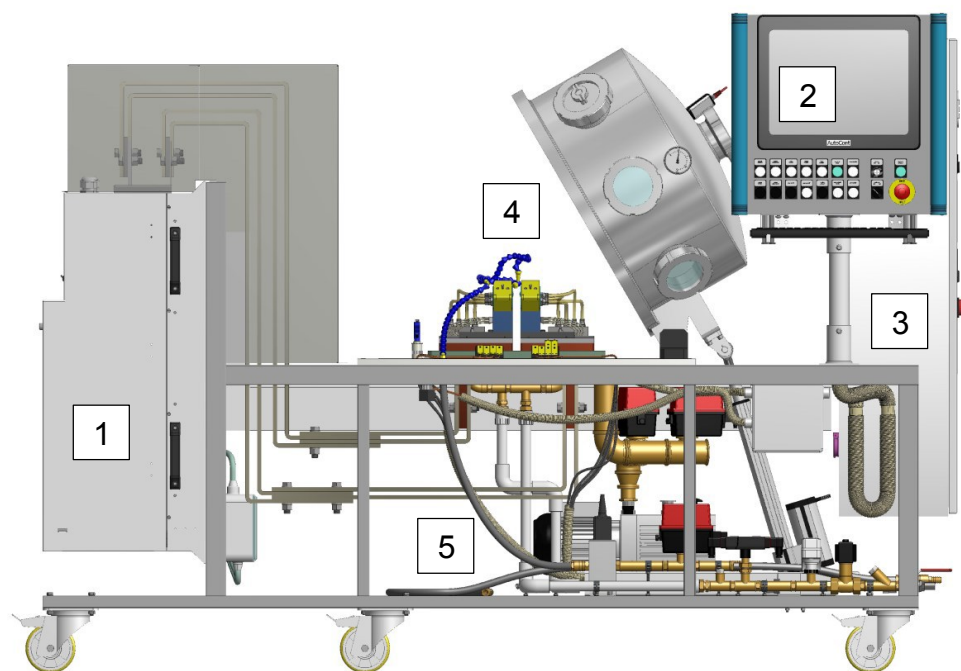
Tento termo-mechanický simulátor je určen pro fyzikální simulace teplotních křivek na kovových vzorcích. Je založen na principu ohmického ohřevu s průchodem elektrického proudu vzorkem. Vzorkem je elektricky vodivý kov s parametry elektrické a tepelné vodivosti podobné oceli. [28]

3. 1. 1 Popis zařízení [28]

Na obrázku č. 3 je zobrazen teplotní simulátor sestavený ve škole Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Simulátor se skládá z:

1. proudový zdroj 6000A,
2. operátorský panel,
3. rozvodná skříň a hlavní spínač,
4. pracovní prostor ve vakuovaném prostoru,
5. prostor pro technické agregáty (vakuová pumpa, ventily, přívody a odvody chlazení a vzduchu, vedení signálových kabelů)



Obr. č. 3 – Teplotní simulátor VŠB [28]

3. 1. 2 Technické parametry [28]

Maximální proud:	6000 A
Maximální napětí:	7 V
Maximální teplotní gradient ohřevu:	200 °K/s
Maximální teplotní gradient chlazení:	50 °K
Maximální teplota vzorku:	1250 °C
Minimální teplota vzorku:	15 °C
Průřez zkušebního vzorku:	10 x 10 mm
Délka zkušebního vzorku:	70 – 140 mm
Minimální dosažený tlak:	0,15 mBar
Zdroj napájení:	3x400 V, 63 A

Rozměry zařízení: 2000 x 1000 x 1600 mm

Váha zařízení: 750 Kg

Tyto parametry jsou platné, pokud jsou zkušební vzorky vyrobeny z konstrukčních nebo nástrojových ocelí s průřezem 10x10 mm. Maximální gradient chlazení je nastaven pro teplotu vzorku 1250 °C. Pokud je teplota vzorku nižší, gradient klesá. Tato minimální rychlost ochlazování je závislá na teplotě chladicí kapaliny z vodovodního řádu. [28]

Experimenty pak mohou probíhat v manuálním nebo automatickém režimu. V manuálním režimu můžeme proud pro ohřev vzorku nastavovat přímo. Tento režim však není vhodný pro tepelné zpracování vzorků, proto je určen především pro testování a nastavování simulátoru. [28]

V automatickém režimu je důležité pro úspěšné provedení experimentu provést následující nastavení [28]:

- parametrů regulace
- požadovaného teplotního průběhu
- limitů experimentu
- ukládání do souboru

3. 2 Termo-mechanický simulátor 810 Material Test System

Tento termomechanický simulátor je dlouhodobě rozvíjen na pracovištích Výzkumného centra tvářecích technologií na Západočeské univerzitě v Plzni, kde je používán pro simulace a optimalizace reálných procesů používaných v termomechanickém zpracování kovů. Při simulování těchto procesů je důležité zachovat požadované teploty ve vzorku. Díky neustálému vývoji tohoto zařízení se vyznačuje dobrou shodou mezi laboratorními výsledky a vlastnostmi reálných tepelných procesů. [32]

Simulátor je složen ze tří subsystémů, jejichž jádrem je elektrohydraulický zkušební systém MTS FlexTestSE. Ten nabízí maximální zatížení 50 kN při rychlostech pohonu až 3 m/s. Je to také centrální řídicí jednotka celého stroje, která udržuje obousměrnou komunikaci s dalšími dvěma subsystémy, které řídí teplotu vzorku. [32]

Dalším subsystémem je systém vytápění vzorků. Ten spočívá ve vysokofrekvenčním elektrickém odporovém ohřevu. Jeho centrem je jednočipový počítač FPGA s patentovanou metodou řízení výkonu. Přesnost teploty vzorku je omezena

přesností termočlánu, jehož odchylka není větší než $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ od hodnoty označené termočlánekem. [32]

Posledním subsystémem je chladicí systém. Jedná se o jednotku, která je založená na zpětné vazbě, spojenou s topným systémem. Ten přenáší digitální data aktuální teploty vzorku a nastavenou teplotu. V opačném případě se chladicí systém automaticky aktivuje. Chladicí kapalinou je pak směs vzduchu a vody s proměnnými poměry aplikovanými při různých intenzitách. Jeho řízení je založeno na vlastním nelineárním algoritmu. Chladicí program pro tento simulátor byl vyvinutý pomocí prostředí LabView a spuštěn na myRio. Chladicí systém má pomalejší odezvu než systém vytápění, jelikož obsahuje mechanické části. [32]

Řídící jednotky chlazení a vytápění komunikují a udržují předepsaný vzorek teplotního profilu v průběhu celého procesu bez nutnosti zásahu obsluhy. [32]



Obr. č. 4 – Thermo-mechanický simulátor 810 Material Test System [29]

3. 2. 1 Technické parametry [29]

Maximální teplota ohřevu:	1400 °C
Rychlost ohřevu:	250 °C/s
Rychlost ochlazování:	250 °C/s
Maximální statická síla:	50 kN
Maximální dynamická síla:	20 kN
Rychlost akumulátoru:	3 m/s
Gradientsy zrychlení a zpomalení:	320 m/s

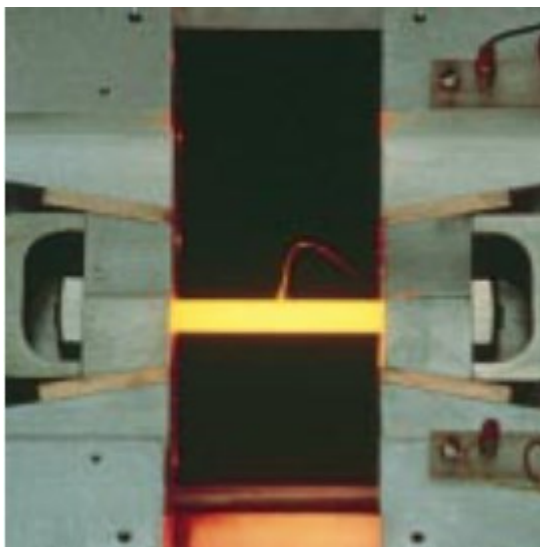
3. 3 Thermo-mechanický simulátor GLEEBLE 3800-GTC

Thermo-mechanický simulátor Gleeble 3800-GTC je nejvýkonnější fyzikální simulátor, který nabízí společnost Dynamic Systems Inc. Tento simulátor umožňuje množství různých testovacích a simulačních možností. Simulátor je vybaven integrovaným dotykovým displejem s počítačem a řadou výkonných procesorů pro lepší přípravu simulačních programů, digitální řízení uzavřeného okruhu tepelných a mechanických systémů a také sběr dat o zkouškách a následná analýza výsledků. [30]

Simulátor Gleeble 3800-GTC umožňuje zahřívat vzorky při rychlostech vyšších než 10000°C/s. Rovnovážnou teplotu je schopen udržovat v rozmezí ± 1 °C. Pomocí termočlánků nebo infračervených pyrometrů je možné přesně kontrolovat zpětné vazby teploty vzorku. Zpětné ochlazení vzorků může probíhat také velmi rychle. Je určeno velikostí, tvarem, teplotou a složením vzorku. To umožňují vodní chladiče nosičů čelistí, jenž drží vzorek. Tepelný systém pak zajišťuje plynulou regulaci chlazení z rovnováhy na maximální rychlost pro daný vzorek. Volitelný systém zhášení může produkovat rychlost chlazení na povrchu vzorku vyšší než 10000 °C/s. [30]

Měřicí systémy jsou rozděleny do modulů, jenž má každý z nich široké spektrum dostupných možností a konfigurací. To umožňuje přizpůsobení systému Gleeble k tomu, aby splňoval přesné požadavky na testování. [30]

Pro tepelné cykly jsou k dispozici různé čelisti pro podporu rovnoměrných teplotních zón a různou konfiguraci vzorků. Další čelisti lze použít k zajištění tepelných gradientů ve vzorku pro simulaci TOO při procesu svařování. [30]



Obr. č. 5 – Simulace tepelného cyklu v simulátoru Gleeble 3800-GTC [30]

Gleeble 3800-GTC umožňuje simulaci těchto procesů [30]:

- kontinuální lití
- válcování za tepla
- kování
- protlačování
- tepelné cykly
- svařování tlakem
- difúzní pájení
- kontinuální žíhání plochých vzorků
- tepelné zpracování
- kalení
- prášková metalurgie / slinování
- vysokoteplotní syntéza (SHS)
- pájení



Obr. č. 6 – Thermo-mechanický simulátor GLEEBLE 3800-GTC [30]

3. 3. 1 Technické parametry [30]

Maximální rychlost ohřevu:	10000 °C/s
Maximální rychlost chladnutí:	10000 °C/s
Maximální teplota:	3000 °C
Maximální rychlost pohybu:	2000 mm/s
Minimální rychlost pohybu:	0,001 mm/s
Maximální rozsah pohybu:	125 mm
Maximální síla v tahu:	10 tun
Maximální síla v tlaku:	20 tun
Maximální velikost vzorku:	ø20 mm

4. Metoda svařování 141

Metoda svařování 141 je svařování elektrickým obloukem netavící se wolframovou elektrodou v ochraně inertního plynu. Zkratkou tuto metodu označujeme jako metoda WIG z německého názvu Wolfram Inter Gas, nebo jako metodu TIG z anglického názvu Tungsten Inter Gas. [23]

4. 1 Princip metody

Princip svařování metodou 141 spočívá v hoření elektrického oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním kovem. Jelikož se elektroda netaví, je přídavný materiál potřebný k vytvoření profilu svaru přidávaný odděleně. [24] Celý tento proces „hoření“ mezi elektrodou a tavnou lázní musí být chráněn před přístupem vzduchu ochrannou atmosférou inertního plynu. Ten fouká z hořáku kolem wolframové elektrody. [23] Jako ochranný plyn se obvykle používá argon, ale může být také použito čisté hélium nebo jeho směs s argonem. U korozivzdorné oceli pak může být použita směs argonu s vodíkem. [24, 25]

Přídavný materiál je dodáván do svarové lázně při ručním svařování ve formě trubičky či drátu nebo při automatickém svařování podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování. Svařování může být prováděno také bez přídavného materiálu. To je realizováno natavováním hran základního materiálu. Používá se to však jen u malých koutových svarů nebo pro lemové spoje. [23] Důležitou součástí svařování je příprava a čistota svarových ploch, typ a průměr elektrod a jejich nabroušení. Použitý ochranný plyn pak musí mít vysokou čistotu a proudit dostatečně dlouho i po ukončení hoření oblouku, aby ochránil svarový kov proti oxidaci. [26]

Další velkou výhodou této metody je způsob bezkontaktního zapálení oblouku. To znamená, že se nemusí wolframová elektroda dotýkat základního materiálu při zahájení svařování. Tím je zapálení oblouku stabilní a klidné. Bezkontaktní zapalování umožňuje vysokofrekvenční ionizátor, jenž je součástí svařovacího zdroje. Zapálení oblouku kontaktně se pak provádí pouze tam, kde pracují jemné a náchylné elektrické přístroje. Zde by mohlo bezkontaktní zapálení oblouku rozladit přístroje. [23]

4. 2 Svařovací proudy

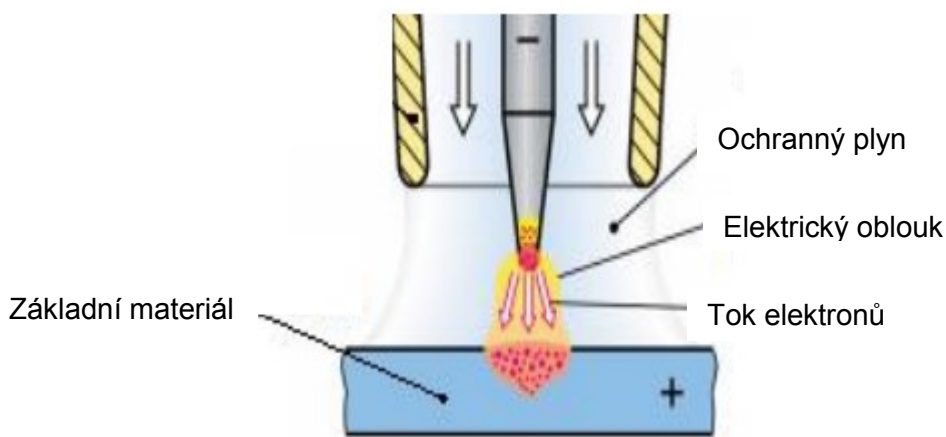
Tato metoda svařování umožňuje použití stejnosměrného, střídavého a impulsního proudu.

4. 2. 1 Stejnosměrný proud

Je základní zapojení u této metody svařování. Elektroda je připojená k zápornému pólu zdroje, svařovaný materiál je připojen na kladný a tím vznikne přímá polarita. Díky nerovnoměrnému rozdělení tepla v oblouku, přičemž cca 1/3 jde do elektrody a cca 2/3 jsou přenášeny do základního materiálu, způsobuje u svarové lázně velkou hloubku závaru a elektroda není tepelně přetěžována. Na velkou hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, jenž svou kinetickou energii přeměňují na energii tepelnou. [25]

Svařování stejnosměrným proudem se používá při svařování všech typů ocelí, mědi, niklu, molybdenu, titanu a jejich slitin. [26]

Zapojení stejnosměrného proudu s nepřímou polaritou se nepoužívá. Důvodem je vysoké zatížení elektrody. [25]

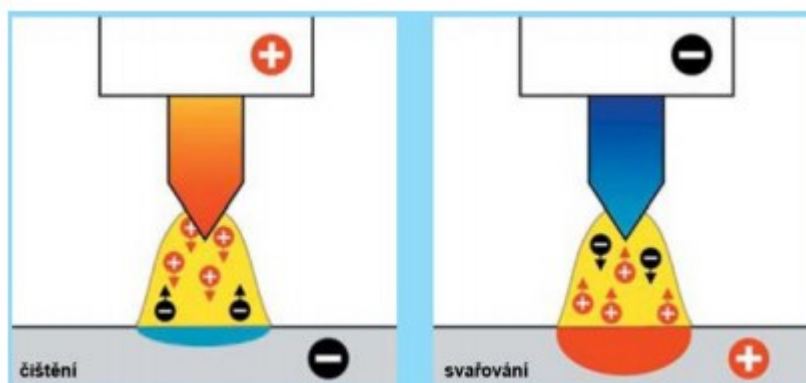


Obrázek č. 7 – Princip svařování stejnosměrným proudem [30]

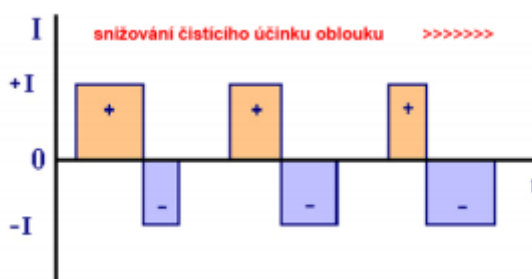
4. 2. 2 Střídavý proud [25]

Tento druh zapojení u metody TIG (WIG) se používá při svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin a to pro svou schopnost čistícího účinku. Ten vzniká, pokud je elektroda zapojená na kladný pól zdroje. Princip čistícího účinku spočívá ve vytvoření nestabilní katodové skvrny na základním materiálu. Ta se pohybuje na místa pokrytá oxidy. Ty mají

nižší emisní energii pro emisi elektronů. Oxidy jsou po zasažení touto skvrnou snadněji odpařeny. Druhá část čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty mají poměrně vysokou hmotnost, jsou urychlené směrem k tavné lázni a působí na oxidy mechanickým účinkem. Dynamický účinek tohoto proudu působí na vrstvy oxidu a stahují je k okraji svarové lázně. Kladným zapojení elektrody vzniká jen malý závar. Vysoké hloubky závaru je pak dosaženo při zapojení elektrody k zápornému pólu zdroje a do tavné lázně dopadají urychlené elektrony. Způsob regulace kladné a záporné půlvlny je zobrazen na obrázku č. 8.



Obr. č. 8 – Způsob použití střídavého proudu u metody 141 [25]

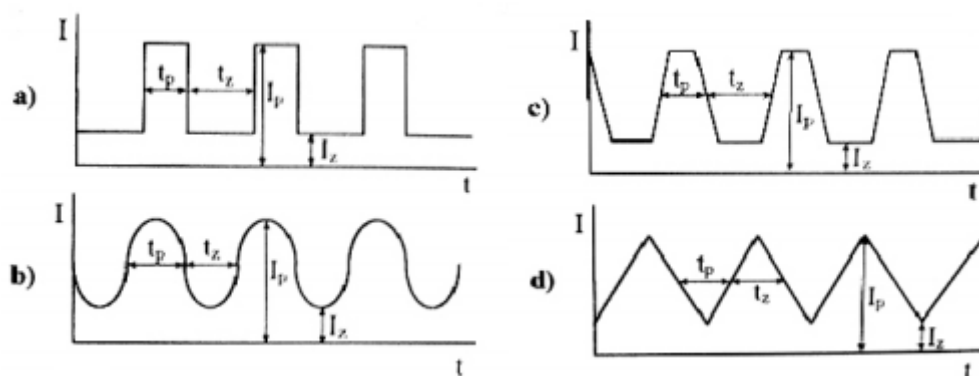


Obr. č. 9 – Způsob regulace kladné a záporné půlvlny u metody 141 [25]

4. 2. 3 Svařování impulsním proudem

Svařování tímto proudem, nebo systémem dvouimpulsového svařování je nejnovější systém svařovací metody 141. Jeho výhodami jsou dokonalejší provedení svarů, lepší mechanické a plastické vlastnosti, snížení tepelně ovlivněného materiálu, dále široký rozsah regulace proudu, atd. Proto je výhodná pro svařování tenkých plechů různých tloušťek a materiálů citlivých na přehřátí. [27]

Při tomto druhu zapojení se mění intenzita proudu pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami. Těmi jsou základní proud I_z a impulsní proud I_p . Tvar průběhu impulsů proudu může být různý. Záleží na charakteru zdroje. Průběhy impulsních proudů jsou znázorněny na obrázku č. 10. [25]



Obr. č. 10 – Průběh impulsního proudu: a) pravoúhelníkový, b) sinusový, c) lichoběžníkový, d) trojúhelníkový, e) jiný [25]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5. Experimentální práce

V experimentální části práce bylo provedeno modelování tepelně ovlivněné oblasti jednovrstvého svaru na simulátoru teplotních cyklů. Použitý teplotní cyklus odpovídal metodě svařování 141 (TIG, WIG). Simulace tepelně ovlivněné oblasti byla provedena na celkem 24 vzorcích o velikosti 10 x 10 x 100 mm. Na těchto vzorcích se následně provedla mikrostrukturní analýza a měření mechanických vlastností.

5. 1 Experimentální materiál

Na vzorky v rámci experimentální práce byla použita ocel P92 s číslem tavby 54380. Atest tavby je uveden v příloze A.

Tabulka č. 3 – Seznam vzorků, režim popouštění a návrh zkoušek

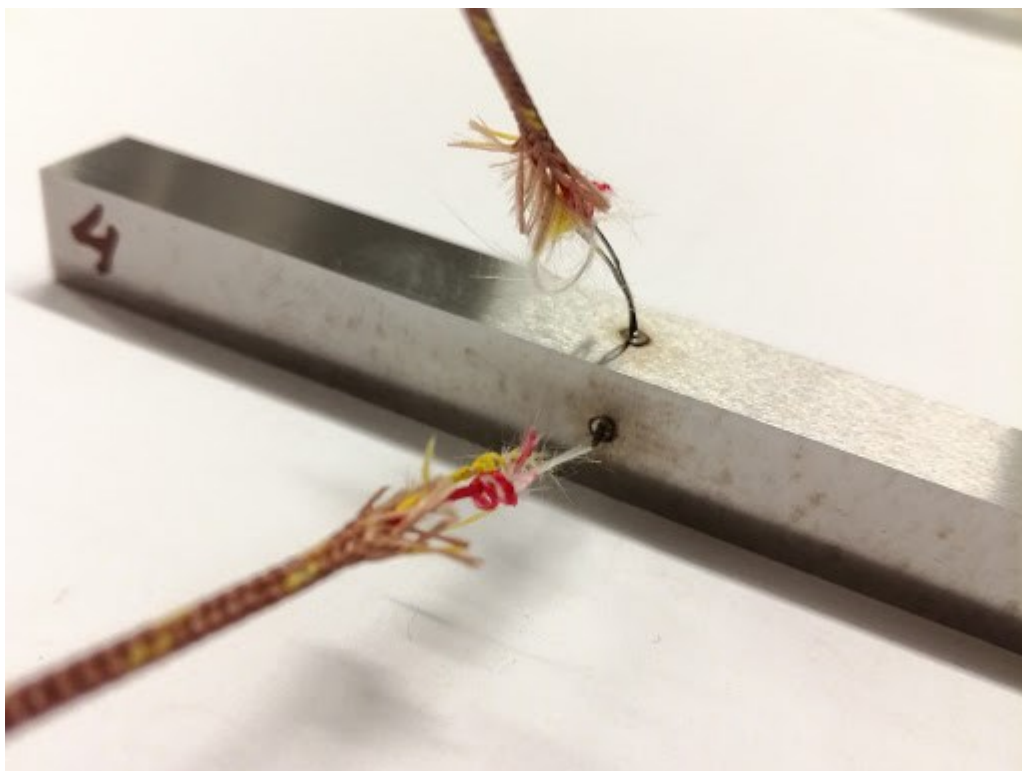
č. vzorku	TZ	Zkoušky
2	Bez TZ	HV + mikro
3	760°C/6h	KV
4	760°C/6h	
5	760°C/6h	
6	760°C/6h	HV + mikro
7	760°C/1h	KV
8	760°C/1h	
9	760°C/1h	
10	760°C/1h	HV + mikro
11	760°C/2h	KV
12	760°C/2h	
13	760°C/2h	
14	760°C/2h	HV + mikro
15	760°C/3h	KV
16	760°C/3h	
17	760°C/3h	
18	760°C/3h	HV + mikro
19	760°C/4h	KV
20	760°C/4h	
21	760°C/4h	
22	760°C/4h	HV + mikro

23	Bez TZ	KV
25	Bez TZ	
26	Bez TZ	

5. 2 Popis modelování teplotních cyklů na simulátoru

Zkušební vzorky pro simulaci tepelně ovlivněné oblasti musely být nejprve odmaštěny technickým lihem, aby se odstranily ulpělé nečistoty a mastnoty z povrchu.

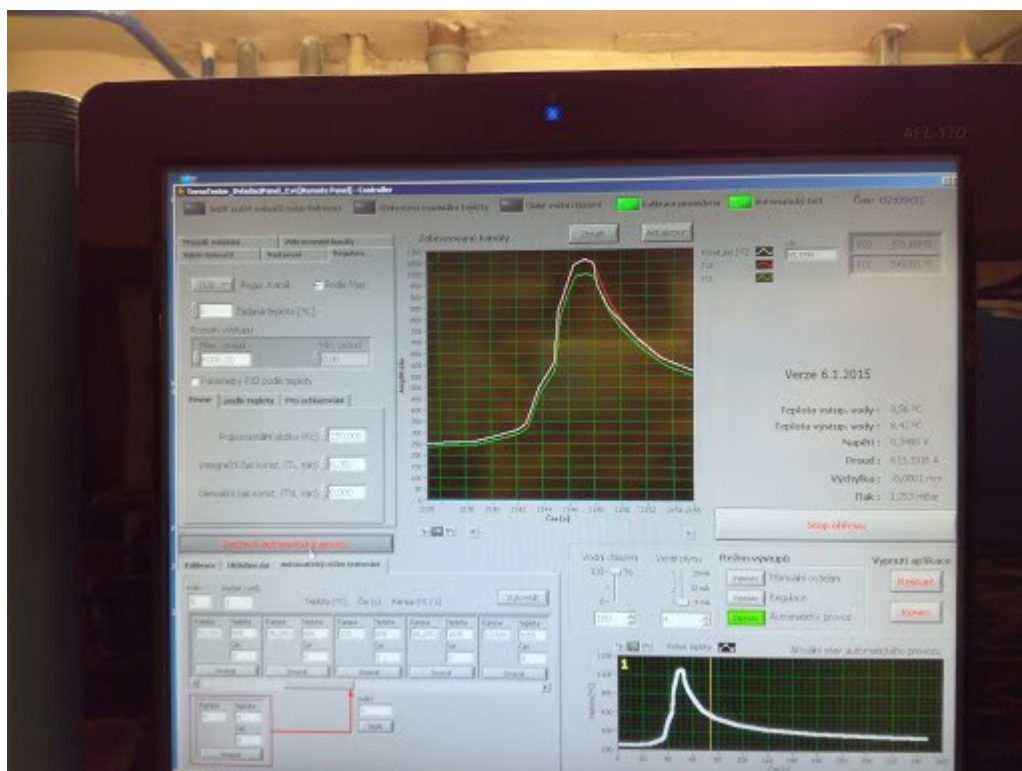
Na odmaštěné a očíslované vzorky se nadále musely přivařit dva termočlánky typu K. Dva proto, aby se omezil počet chyb při měření, a také pro případ, že by došlo v průběhu simulace teplotního cyklu k poškození jednoho z termočlánků. Tyto články se ke vzorku přivařily pomocí svářečky TL-Weld, tak aby se dráty termočlánku vzájemně nedotýkaly nad povrchem vzorku. Ukázka vzorku připraveného pro simulování teplotního cyklu je na obrázku č. 11.



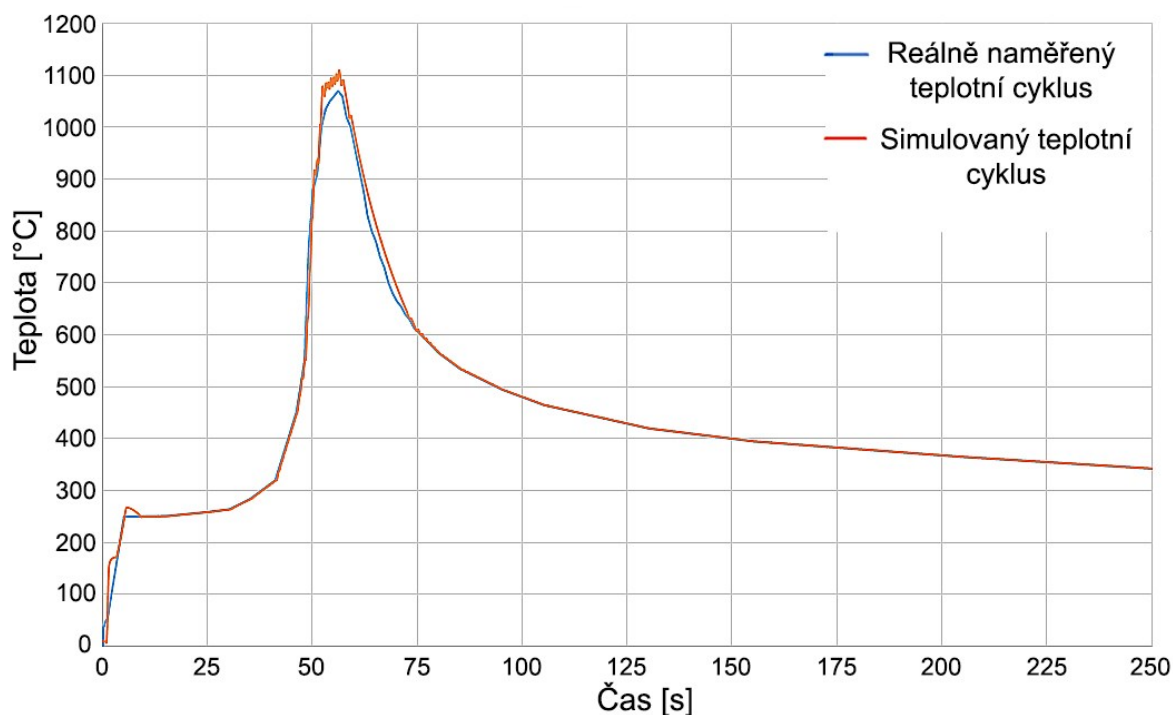
Obr. č. 11 – Vzorek připravený pro simulování teplotního cyklu

Poté se vzorek upnul do nastavitelných čelistí teplotního simulátoru. Vzorek musí být v čelistech upnut stejnoměrně. Pak se uzavřel zvon vakuové komory. Po spuštění simulace se začne vzorek zahřívat. Během procesu však musí být vzorky chlazeny, proto uvnitř čelistí proudí studená voda.

Do programu teplotního simulátoru se zadaly údaje pro dané pásmo TOO z naměřeného teplotního cyklu. Tyto údaje se zobrazily na obrazovce simulátoru, kde se nejprve zkontrolovaly. Po kontrole a případné opravě vstupních údajů, byla simulace spuštěna. Vzorek se začal zahřívat na určenou teplotu, v tomto případě na max. teplotu 1060 °C. Po dosažení této teploty se vzorek prudce ochladil. Křivka průběhu cyklu se po celou dobu zobrazovala na monitoru simulátoru. Výsledkem je vymodelování teplotního cyklu příslušného pásma tepelně ovlivněné oblasti. V našem případě šlo o pásmo normalizace.



Obr. č. 12 – Průběh simulace zobrazená na obrazovce simulátoru



Graf č. 1 – Cyklus tepelného zpracování [33]

5. 3 Zkoušky rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu byla provedena ve firmě Vítkovice testing center s.r.o. v souladu s normou ČSN EN ISO 148 – 1. V průběhu měření byla teplota okolí 20 °C. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

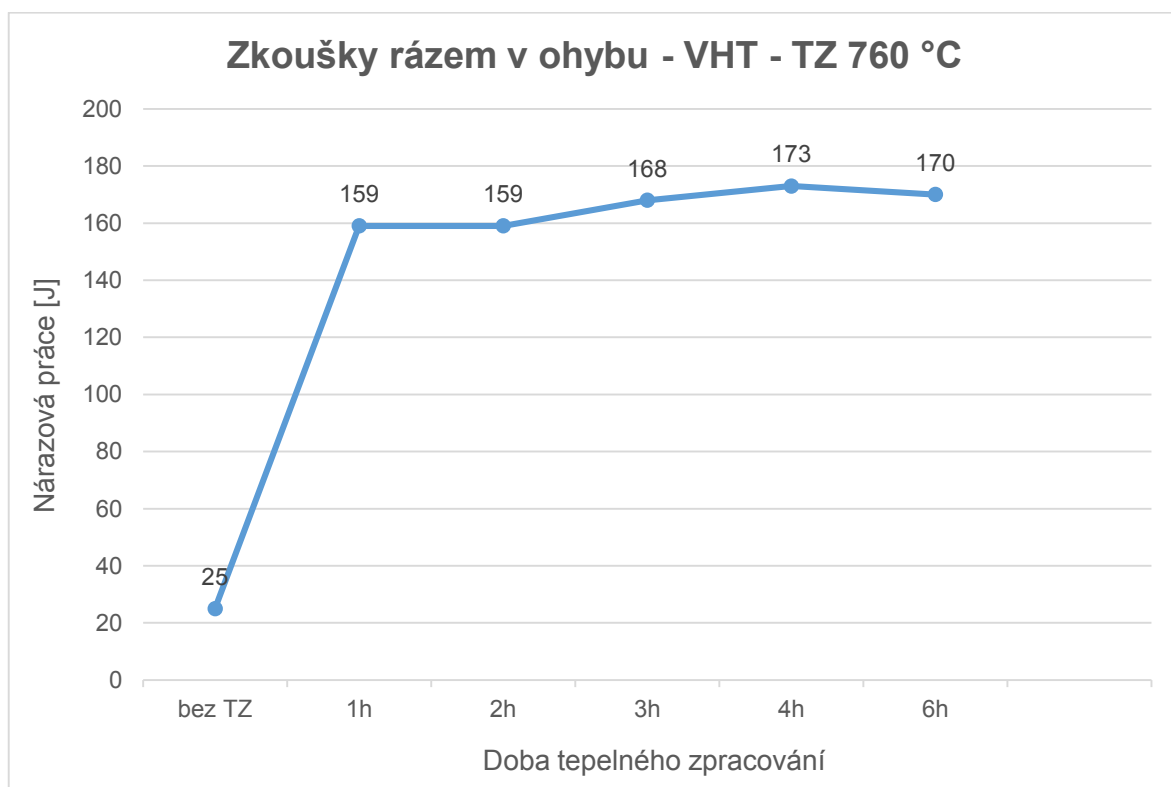
Hodnoty použité v grafech 3 a 5, tedy hodnoty křivek reálného svaru a staršího simulovaného vzorku jsou použity z článku. [33]

Tabulka č. 4 – Výsledné hodnoty nárazové práce v závislosti na režimu tepelného zpracování

Tepelné zpracování	KV ₂ [J]	Průměrná hodnota KV ₂ [J]
Bez TZ	39	25
	19	
	16	
760°C/ 1h	166	159
	-	
	152	
760°C/ 2h	178	159
	152	

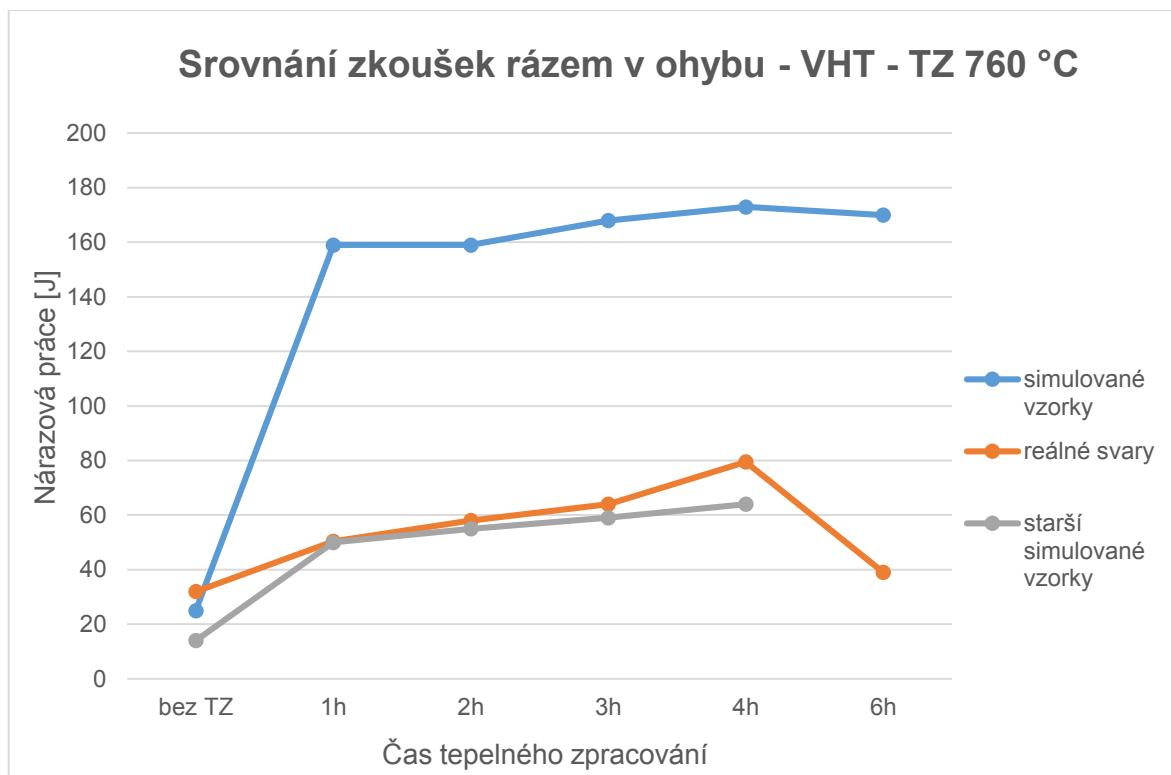
	146	
760°C/ 3h	156	168
	173	
	176	
760°C/ 4h	174	173
	173	
	172	
760°C/ 6h	163	170
	172	
	176	

Hodnoty z tabulky jsou uvedeny v grafu č. 2. V něm jde vidět, že vzorek bez tepelného zpracování má velmi nízkou hodnotu nárazové práce oproti vzorkům s různou dobou tepelného zpracování.



Graf č. 2 – Závislost nárazové práce na různých režimech tepelného zpracování – VHT

Pro srovnání jsou v dalším grafu č. 3, uvedeny výsledky simulovaných vzorků této práce s výsledky reálného svaru svařovaného metodou 141. Jedná se o výsledky měření v TOO. Kromě toho graf obsahuje ještě křivku s hodnotami staršího experimentu (simulované vzorky z jiné tavby oceli P92).



Graf č. 3 - Srovnání dosažených výsledků s výsledky předchozích experimentů

5. 3. 1 Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu

Výsledky zkoušek rázem v ohybu se hodnotí podle normy ČSN EN 13480 – 2, kde minimum pro hodnotu nárazové práce je 27J. Hlavní prioritou je zachování výsledných hodnot nad požadovaným minimem.

Z grafu č. 3 je zřejmé, že trend jednotlivých křivek je stejný. Všechny křivky od minimální hodnoty stoupají s prodlužujícím se časem tepelného zpracování až k 4 h, zde je hodnota maximální. Poté začnou hodnoty klesat (6 hodin).

5. 4 Zkoušky tvrdosti

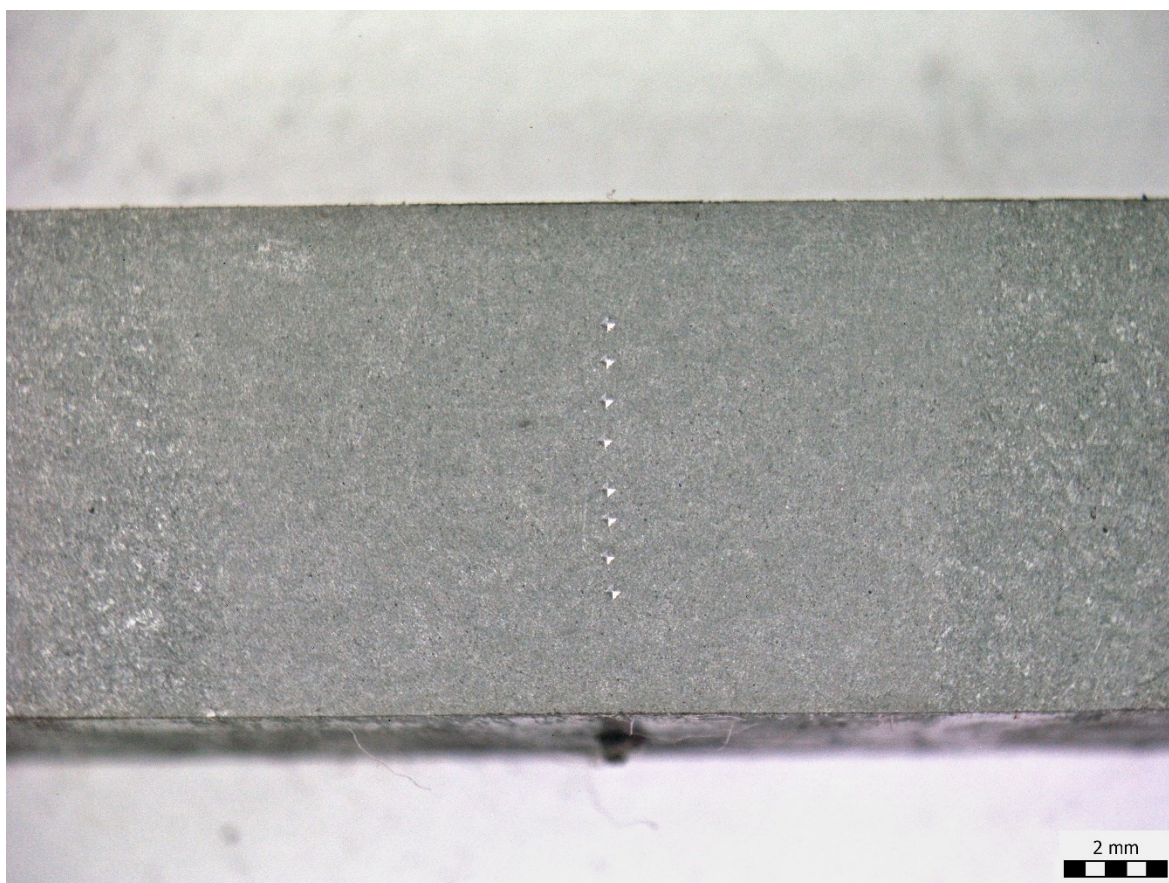
Zkoušky tvrdosti byly provedeny na tvrdoměru VICKERS HARDNESS TESTER LECO LV700, kde se nastavily potřebné parametry pro měření tvrdosti HV10. Měření proběhlo ve středu simulované tepelně ovlivněné oblasti na jednotlivých vzorcích. Na každém vzorku bylo provedeno minimálně 5 vpichů. Výsledky testů jsou uvedeny v tabulce č. 5. Tepelné zpracování bylo u všech vzorků provedeno při teplotě 760 °C.



Obr. č. 13 – Zkouška tvrdosti – provedení vpichu do vzorku



Obr. č. 14 – Tvrdoměr Vickers LECO LV700



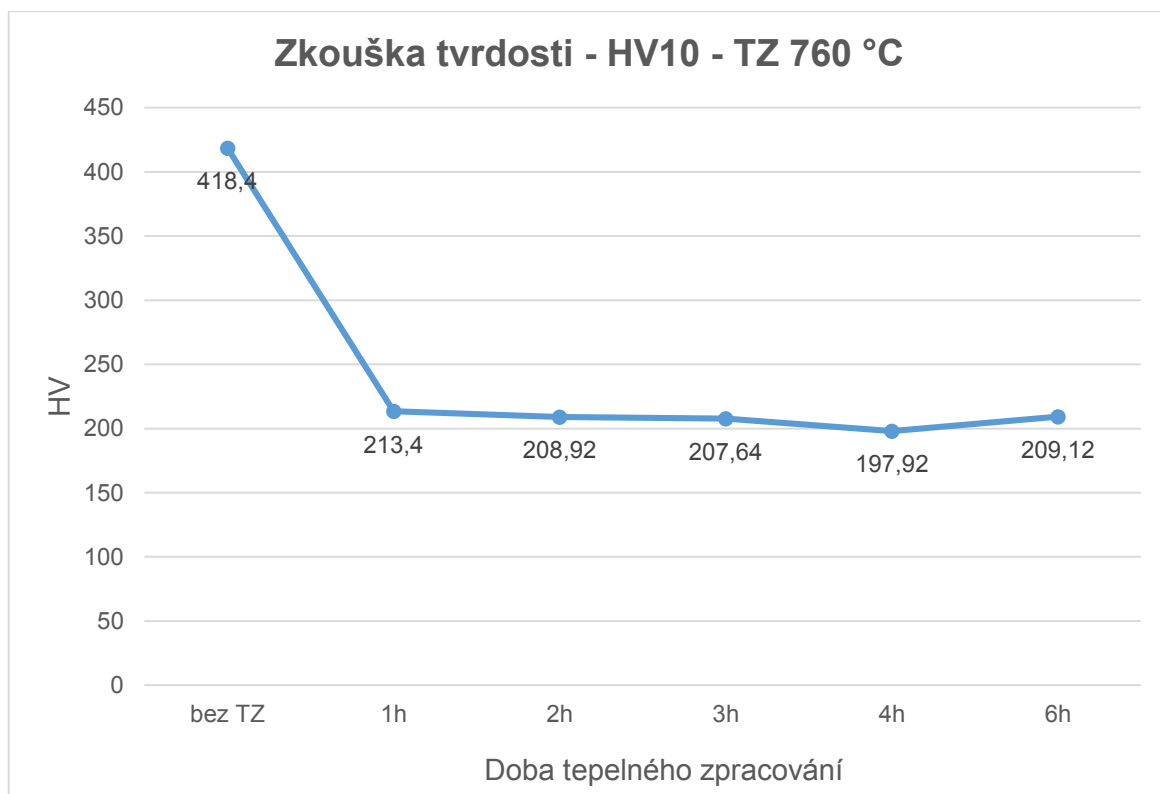
Obr. č. 15 – Zkouška tvrdosti

Tabulka č. 5 – Výsledky zkoušek tvrdosti

Tepelné zpracování		Průměrná hodnota HV10
Bez TZ	412,4	418,4
	399,7	
	434,9	
	420,3	
	424,7	
760°C/ 1h	216,6	213,4
	214,8	
	211,7	
	211	
	212,9	
760°C/ 2h	204,1	208,92
	206,4	
	209,2	
	213,2	
	211,7	

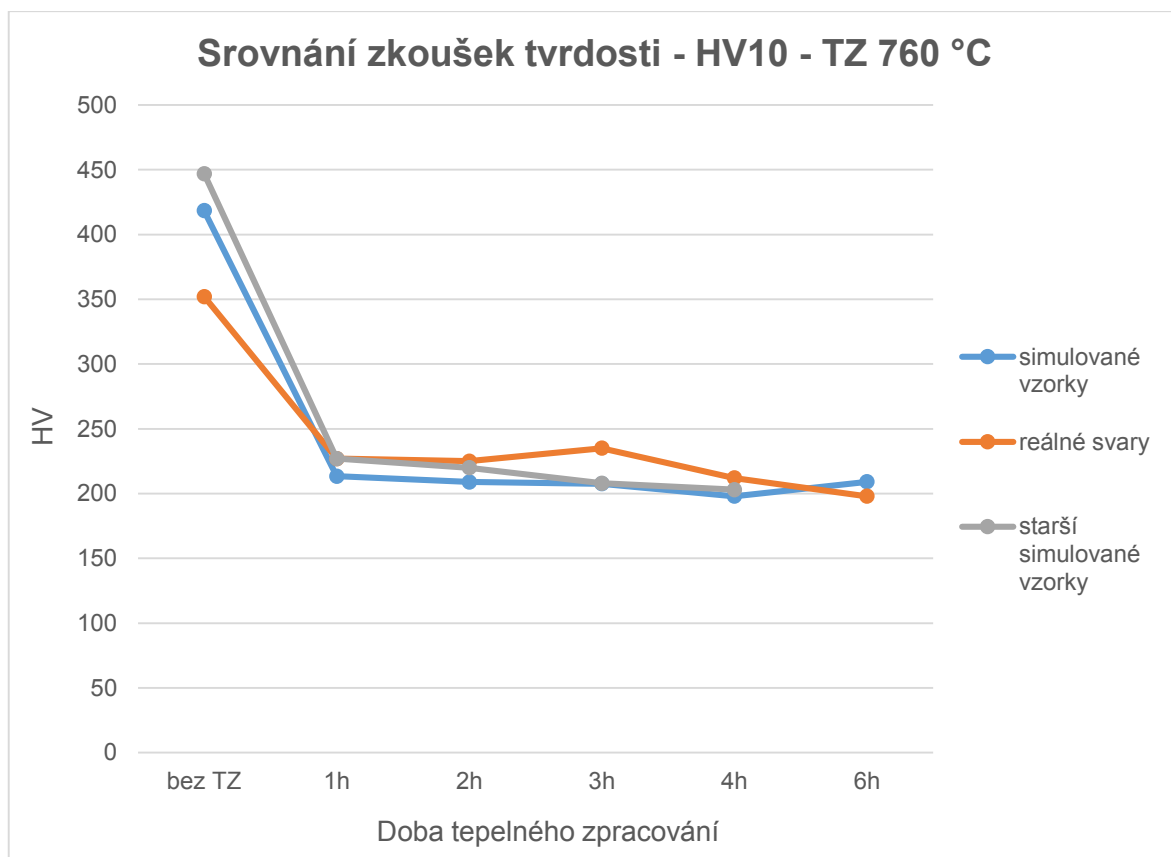
760°C/ 3h	206,1	207,64
	207,6	
	208,6	
	208,1	
	207,8	
760°C/ 4h	199,5	197,92
	198	
	201,1	
	195,5	
	195,5	
760°C/ 6h	206,8	209,12
	211,2	
	210,7	
	205,8	
	211,1	

Tyto hodnoty byly zpracovány do grafu č. 4, který je uveden níže. V grafu je vidět, že vzorek bez tepelného zpracování má nejvyšší tvrdost. Vzorky s tepelným zpracováním pak mají hodnoty výrazně nižší.



Graf č. 4 – Výsledné hodnoty zkoušek tvrdosti

Pro srovnání jsou tyto výsledky uvedeny v dalším níže uvedeném grafu s výsledky reálného svaru svařovaného metodou 141. Další křivka zobrazuje hodnoty starších vzorků simulovaných na teplotním simulátoru, tyto vzorky mají jinou tavnou oceli P92.



Graf. č. 5 – Srovnání dosažených výsledků s výsledky předchozích experimentů

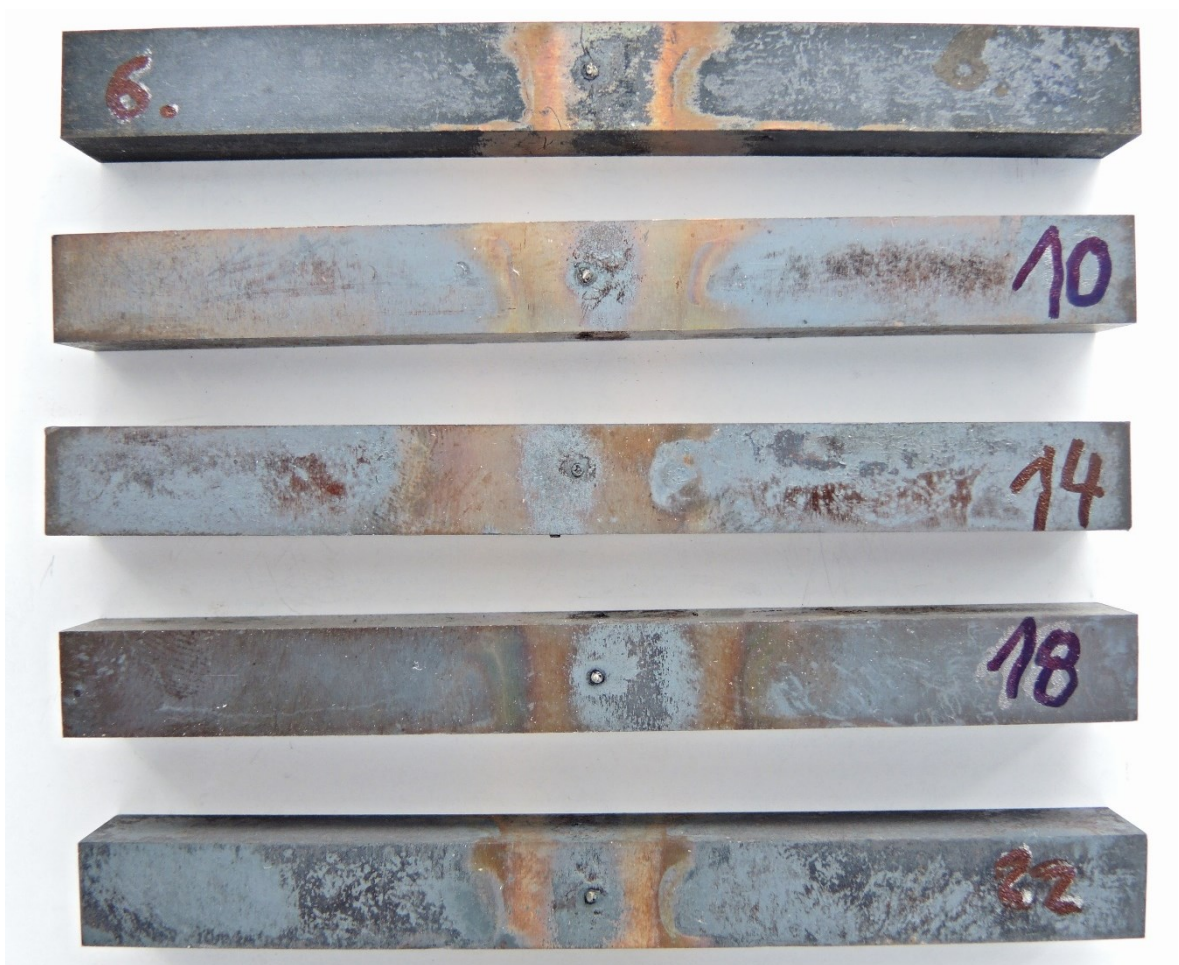
5. 4. 1 Vyhodnocení zkoušek tvrdosti

Z grafu srovnání dosažených výsledků s výsledky reálného svaru metody 141 a staršího simulovaného vzorku vyplývá, že nejenže je trend křivek stejný, ale i rozdíly naměřených hodnot jsou velmi malé u všech měření. Nejvyšší tvrdost v tepelně ovlivněné oblasti je tedy u vzorku bez tepelného zpracování. Ve všech případech zpracování se dostáváme nad hodnotu 350 HV. Což je maximální tvrdost podle normy ČSN EN 1090 – 1. Nejnižší hodnota tvrdosti u simulovaných vzorků této práce je při 4 h tepelného zpracování a u reálného svaru je pak nejnižší hodnota na 6 h. Z toho vyplývá, že se tato ocel musí po svařování tepelně zpracovat, aby byly dosaženy požadované mechanické hodnoty.

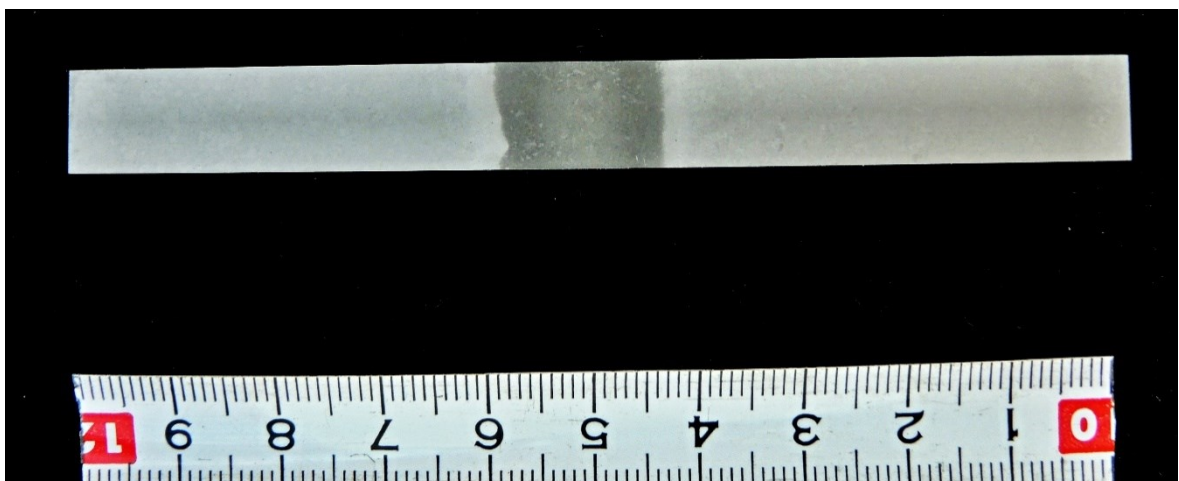
5. 5 Makrostruktura

Na vzorcích č. 2, 6, 10, 14, 18, 22 byla provedena kontrola makrostruktury. Ta probíhala tak, že se na vybroušené vzorky nanese způsobem potírání leptadlo. Leptání bylo provedeno metodou Adler – Mattinga. Tak bylo dosaženo dokonale viditelné

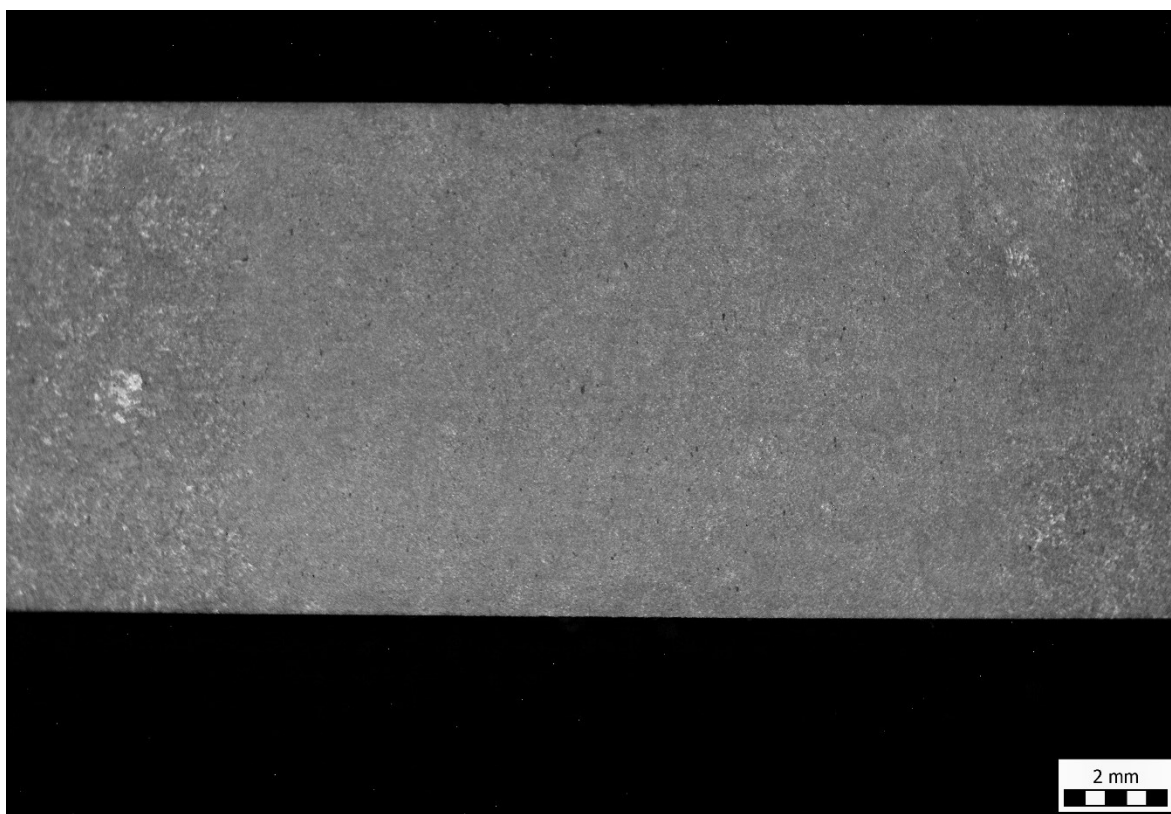
makrostruktury. Na obrázku č. 16 je nejprve vidět dodaný stav vzorků. Níže jsou pak uvedeny obrázky makrostruktury jednotlivých vzorků.



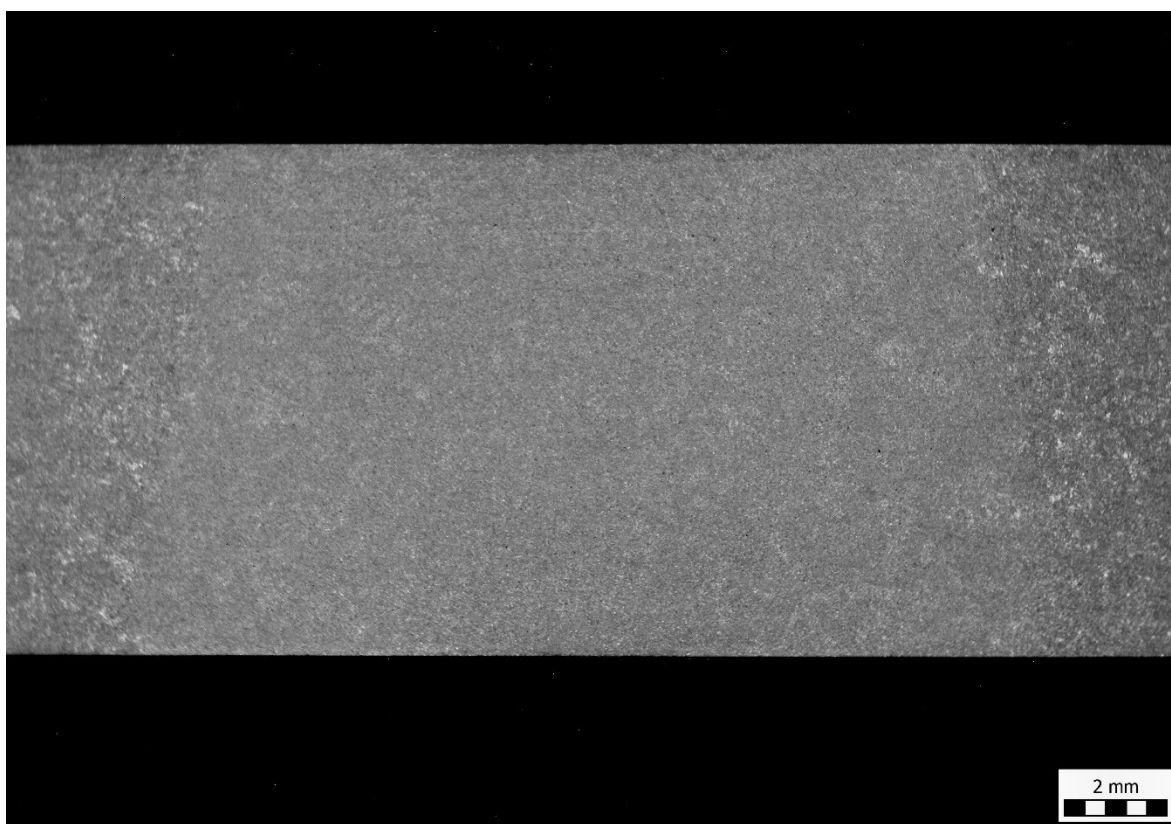
Obr. č. 16 – Dodaný stav vzorků pro metalografii



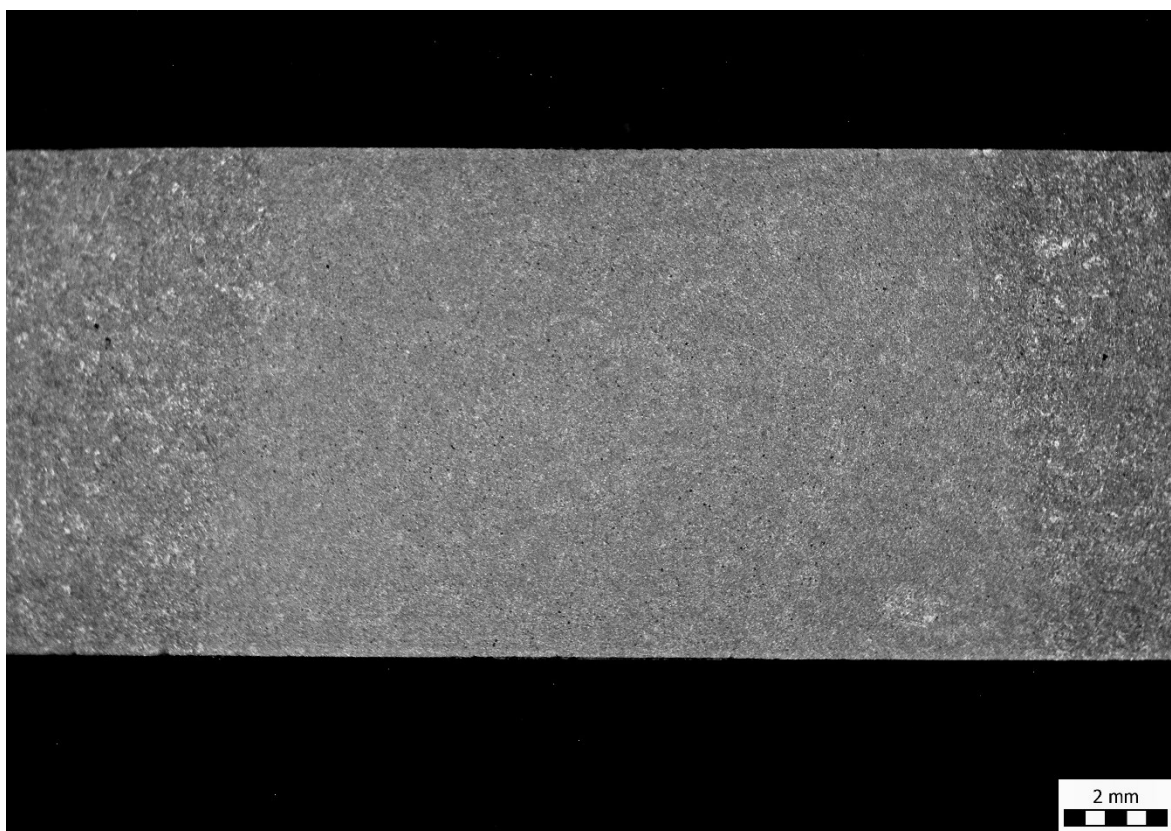
Obr. č. 17 – Makrostruktura vzorku č. 2 – bez tepelného zpracování



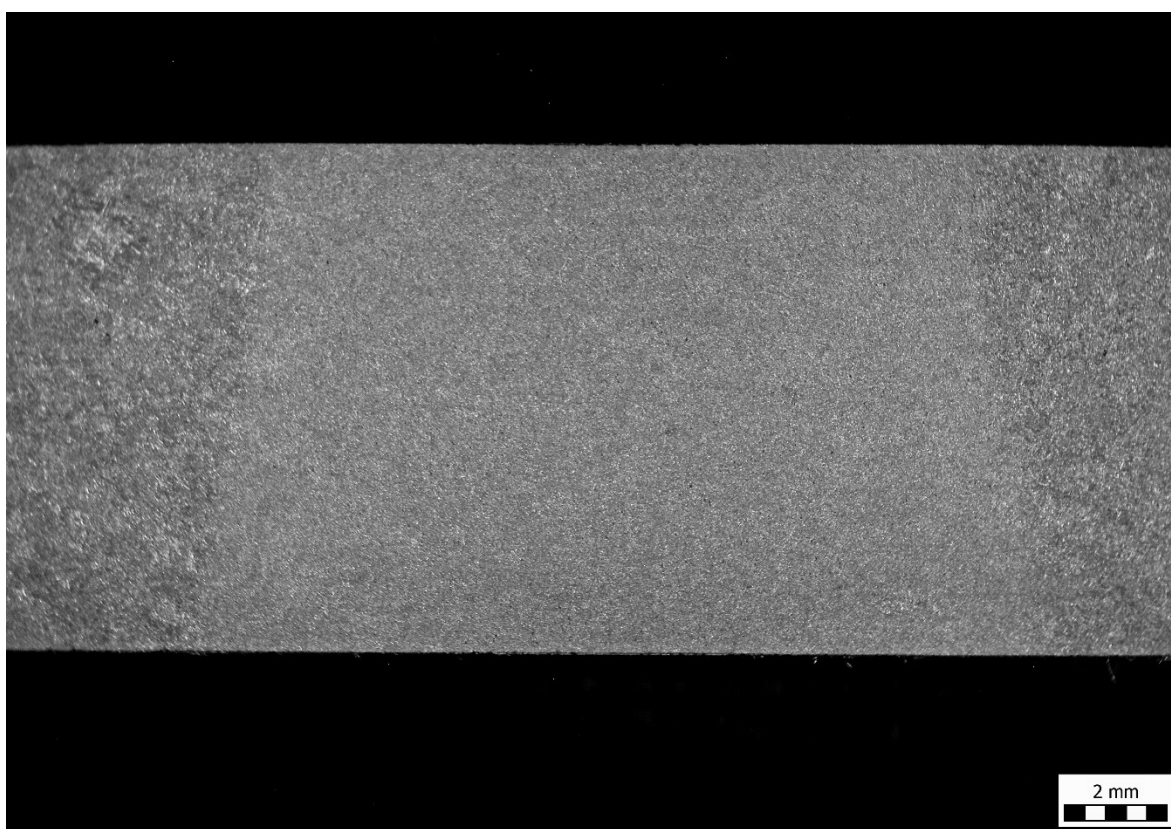
Obr. č. 18 – Makrostruktura vzorku č. 10 – tepelné zpracování 760°C/1h



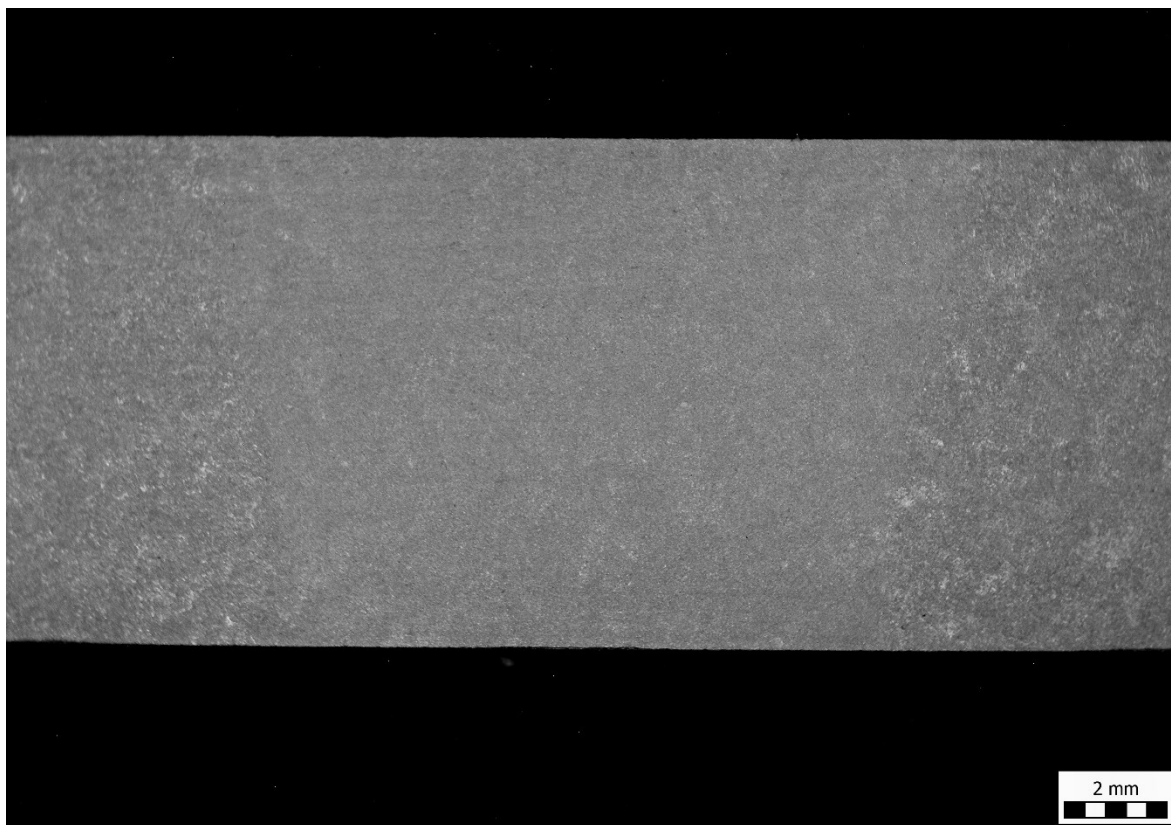
Obr. č. 19 – Makrostruktura vzorku č. 14 – tepelné zpracování 760°C/2h



Obr. č. 20 – Makrostruktura vzorku č. 18 – tepelné zpracování 760°C/3h



Obr. č. 21 – Makrostruktura vzorku č. 22 – tepelné zpracování 760°C/4h

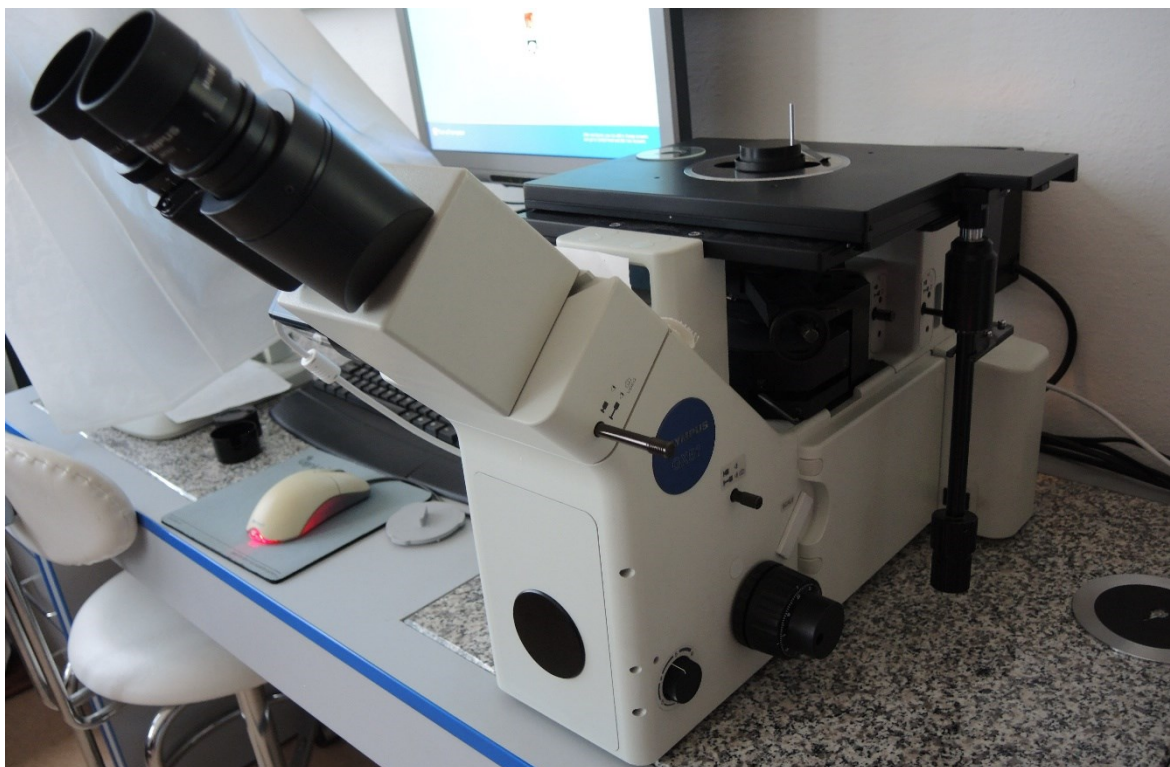


Obr. č. 22 – Makrostruktura vzorku č. 6 – tepelné zpracování 760°C/6h

5. 6 Mikrostruktura

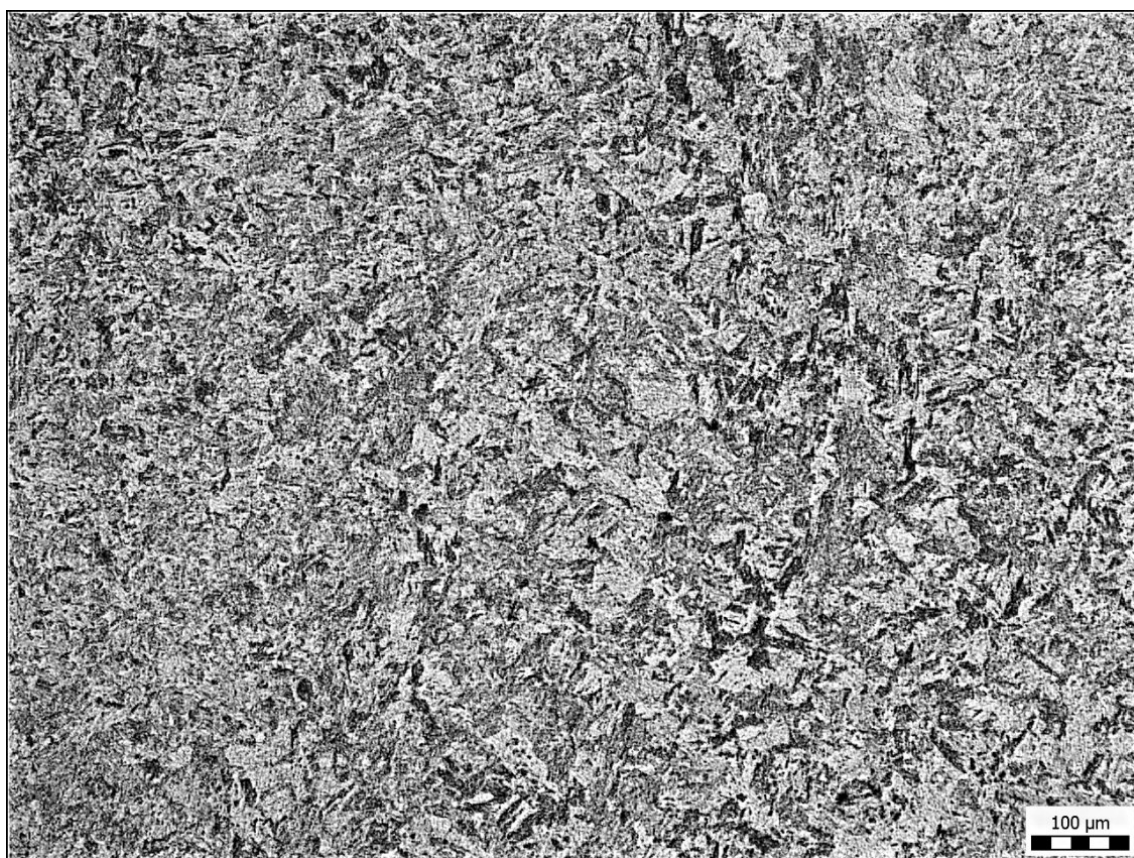
Pro kontrolu mikrostruktury vzorků bylo potřeba vzorky nejprve nařezat na stroji Struers Discotom-6 na potřebnou velikost. Připravené vzorky se vložily do metalografického lisu Struers ProntoPress-20, kterým se vzorky pomocí tepla preparovaly do zalévací hmoty MiltiFast Black. Následnou operací bylo leštění na brusičce a leštičce Struers TegraPol-35, k tomu byl použit roztok Struers DiaPro Nap B o zrnitosti 1 μ m. Takto připravené vzorky se na závěr naleptaly roztokem Villela Bain.

Fotky pro kontrolu mikrostruktur byly provedena na metalografickém mikroskopu Olympus GX51. Ten je zobrazen na obrázku č. 23. Snímky byly následně zpracovány v PC programu Quickphoto Industrial 3.1. Snímky jsou uvedeny níže. Kontrola byla provedena v simulované tepelně ovlivněné oblasti a na okraji vzorků. Díky tomu je možné porovnat mikrostrukturu tepelně zpracovaného základního kovu a tepelně ovlivněné oblasti.

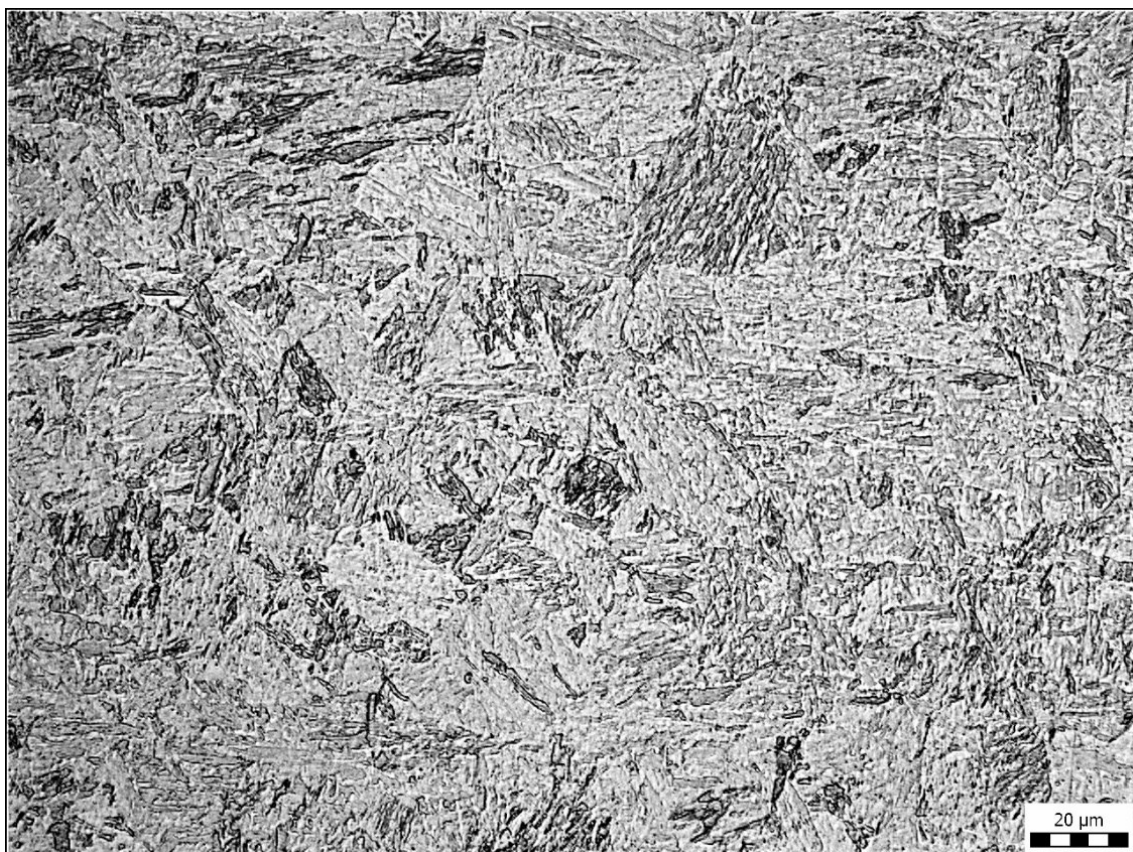


Obr. č. 23 – metalografický mikroskop Olympus GX51

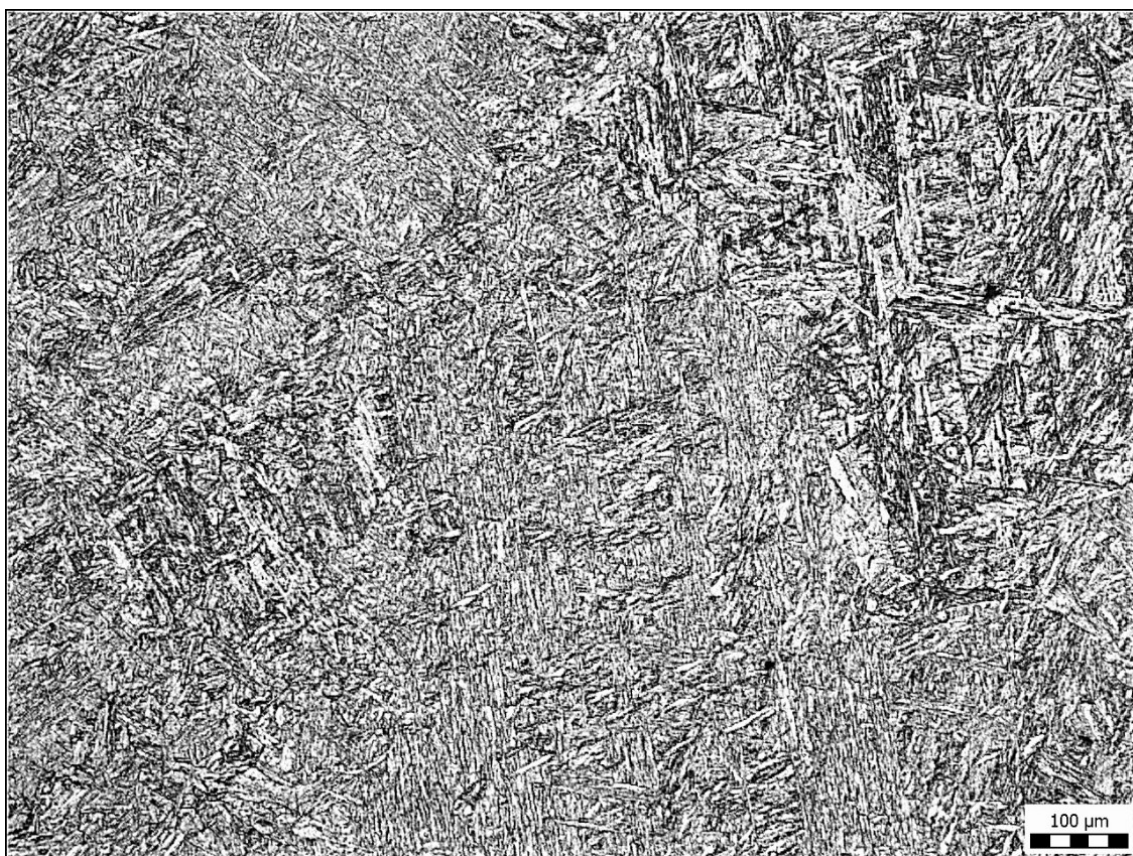
5. 6. 1 Mikrostruktura vzorku č. 2 – bez tepelného zpracování



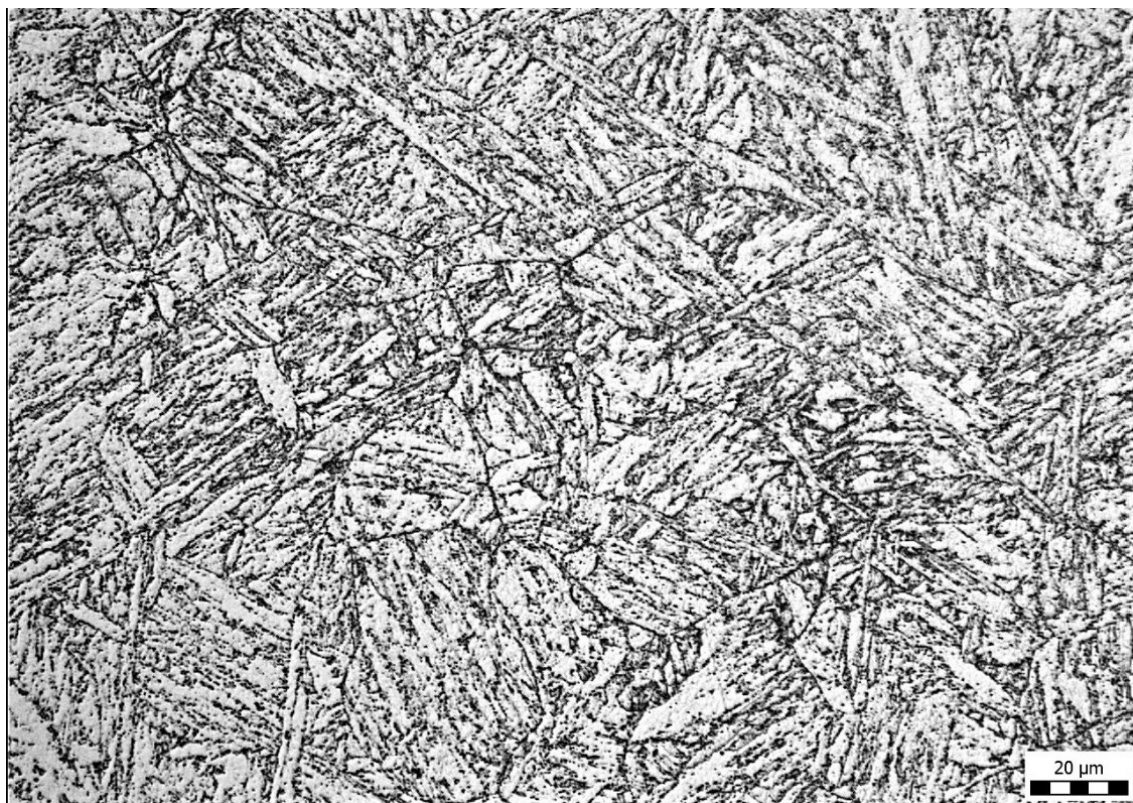
Obr. č. 24 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 100x



Obr. č. 25 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 500x

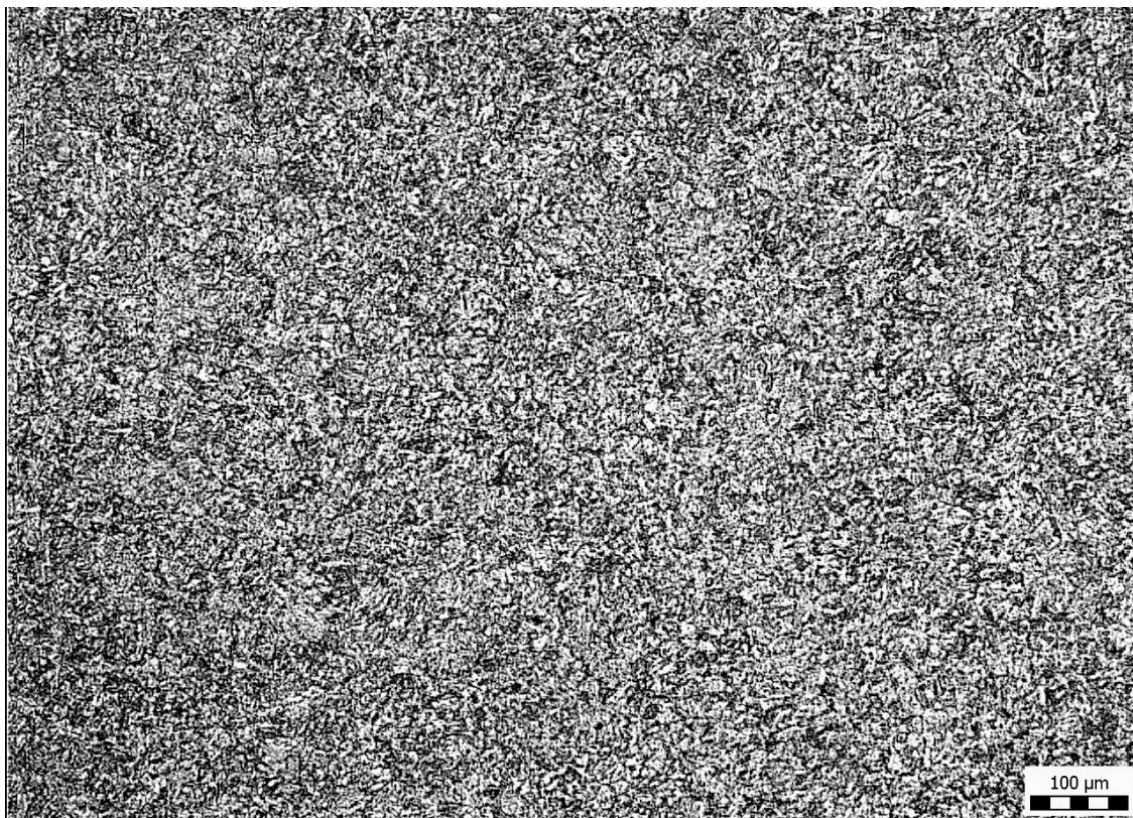


Obr. č. 26 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 100x

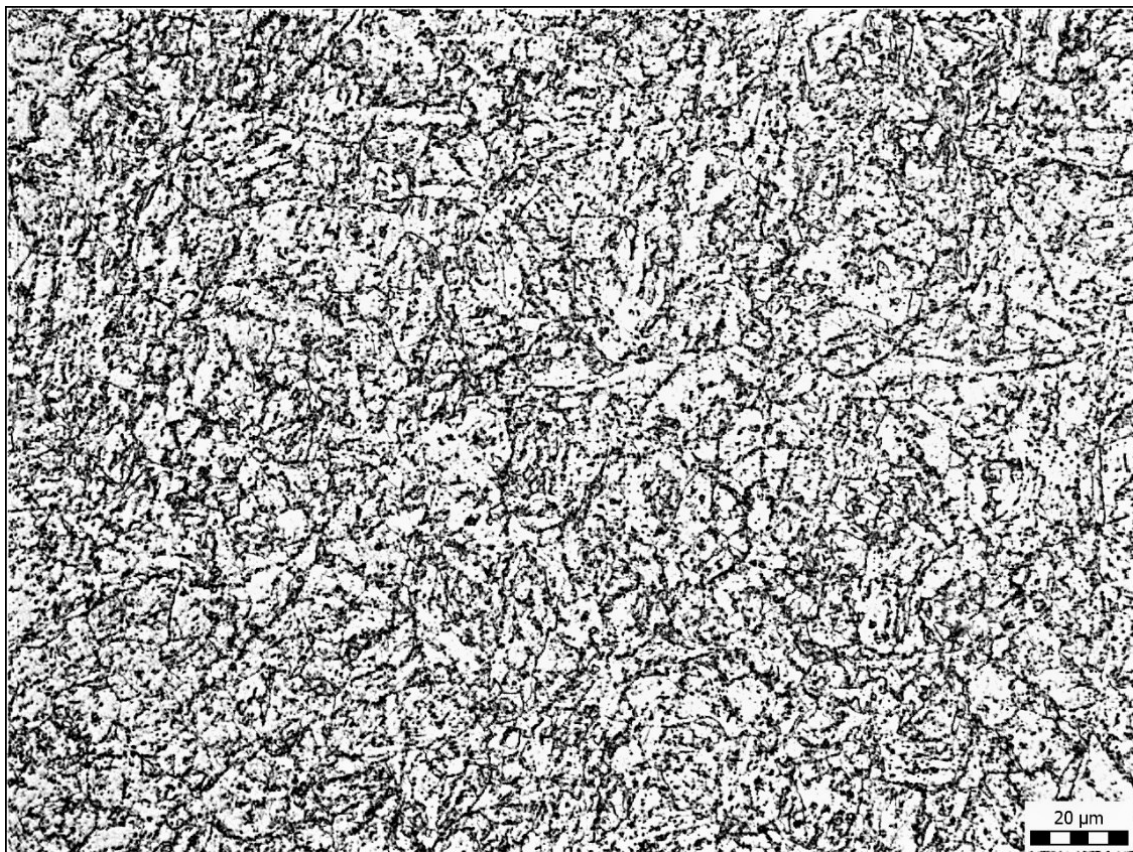


Obr. č. 27 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 500x

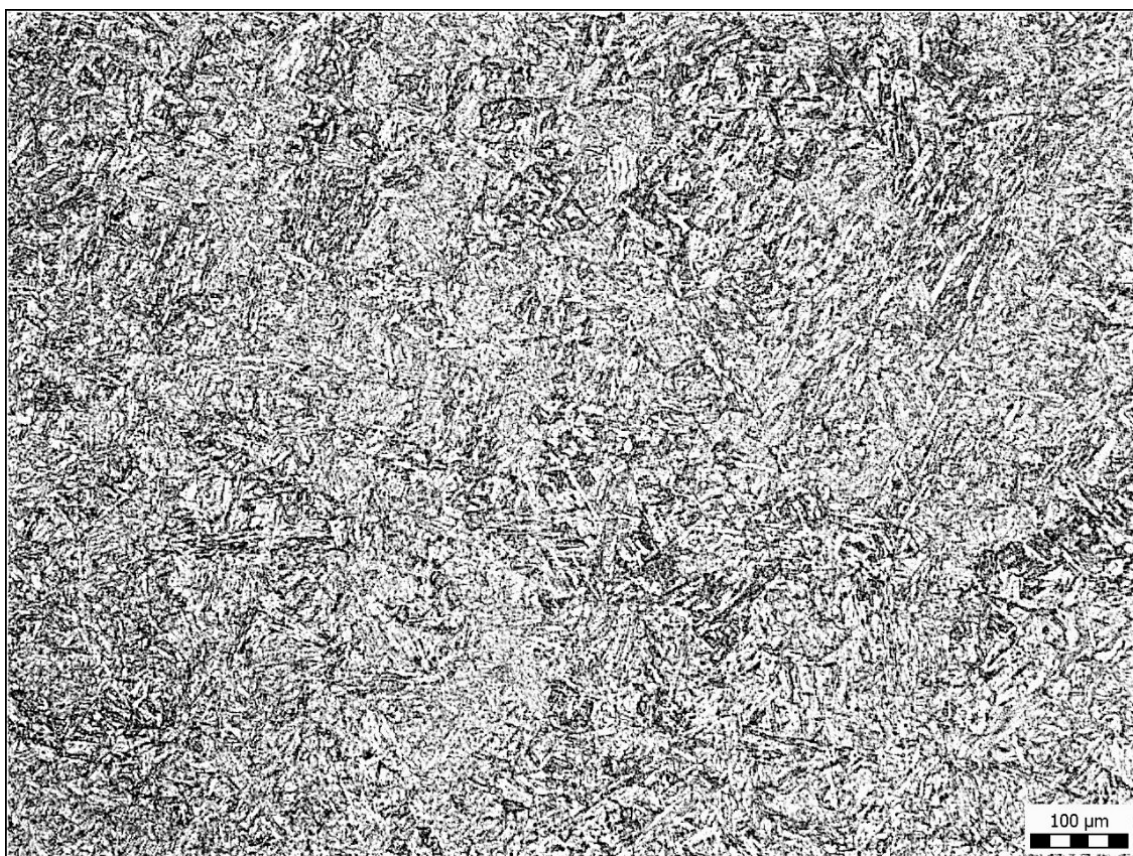
5. 6. 2 Mikrostruktura vzorku č. 14 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 2 h



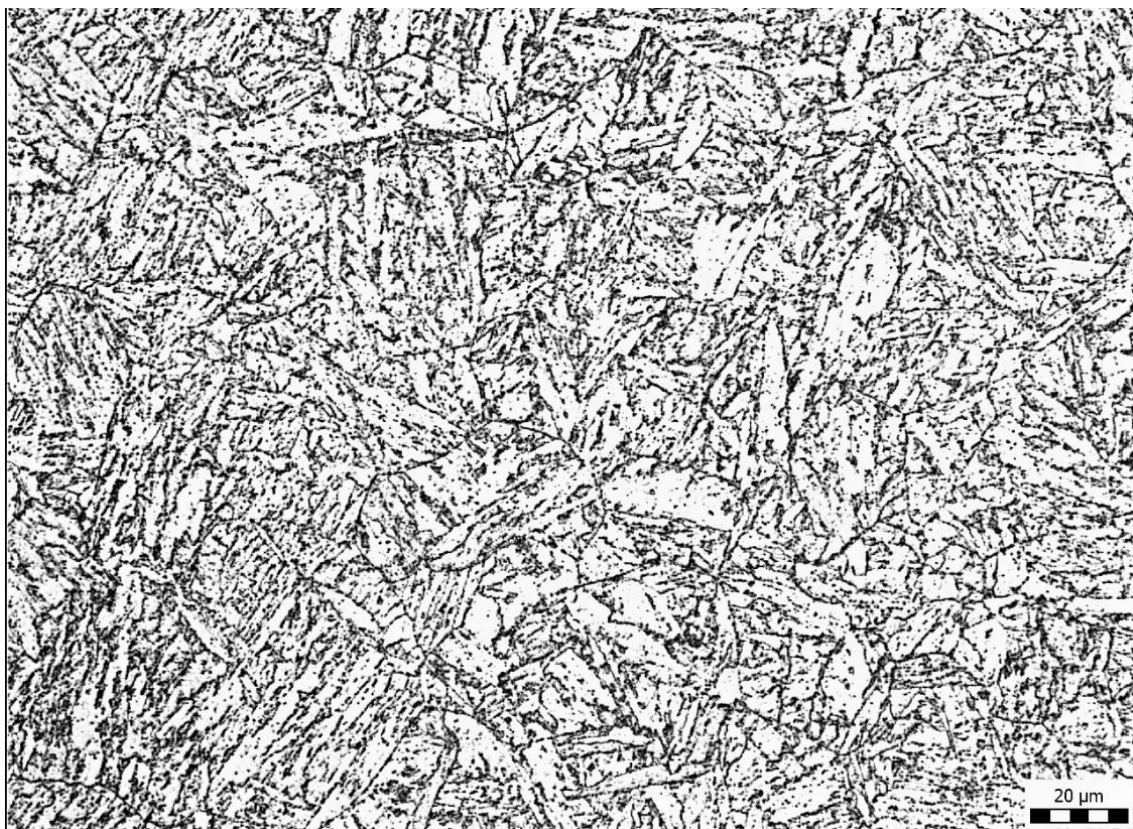
Obr. č. 28 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 100x



Obr. č. 29 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 500x

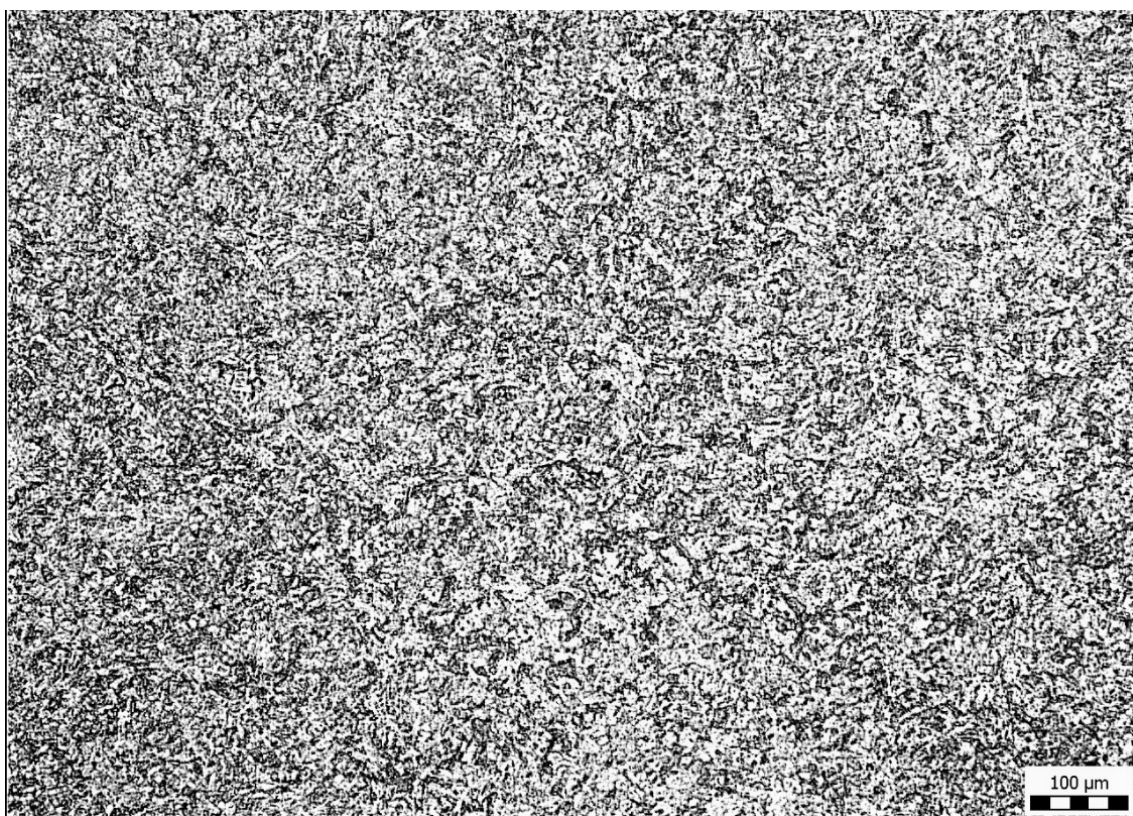


Obr. č. 30 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 100x

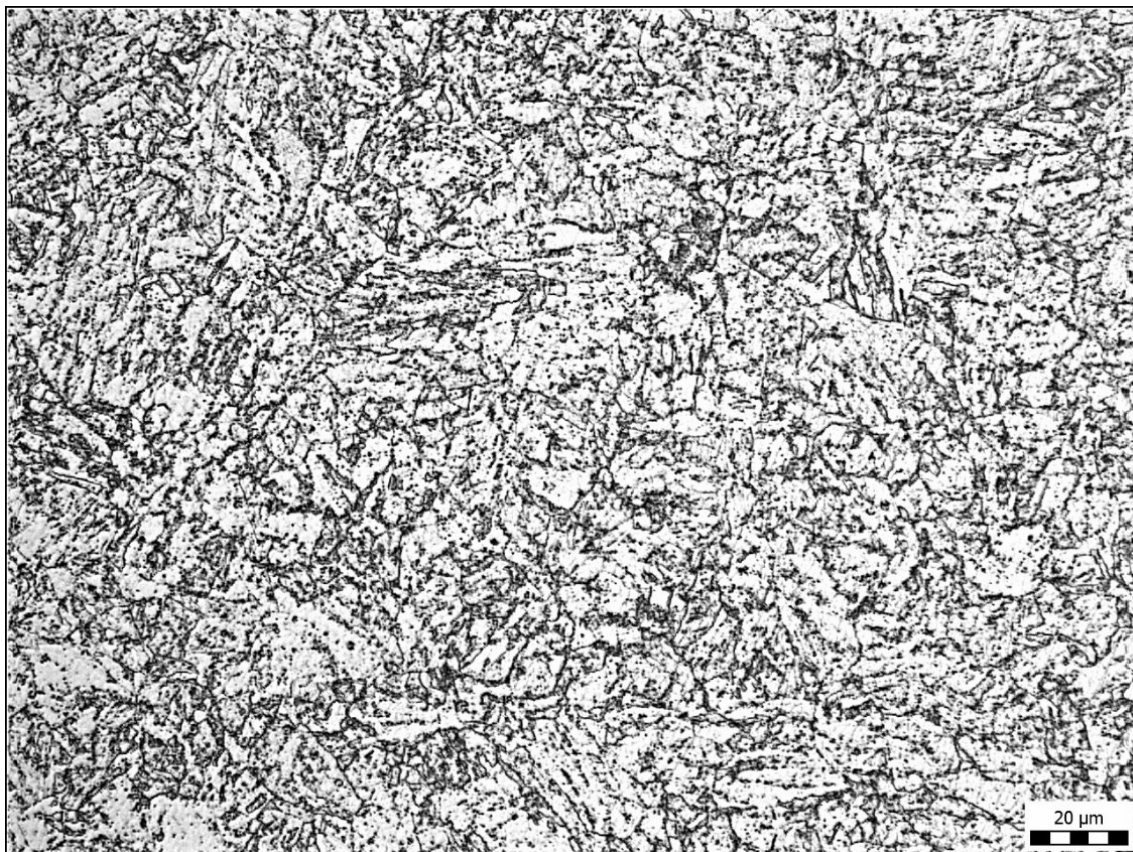


Obr. č. 31 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 500x

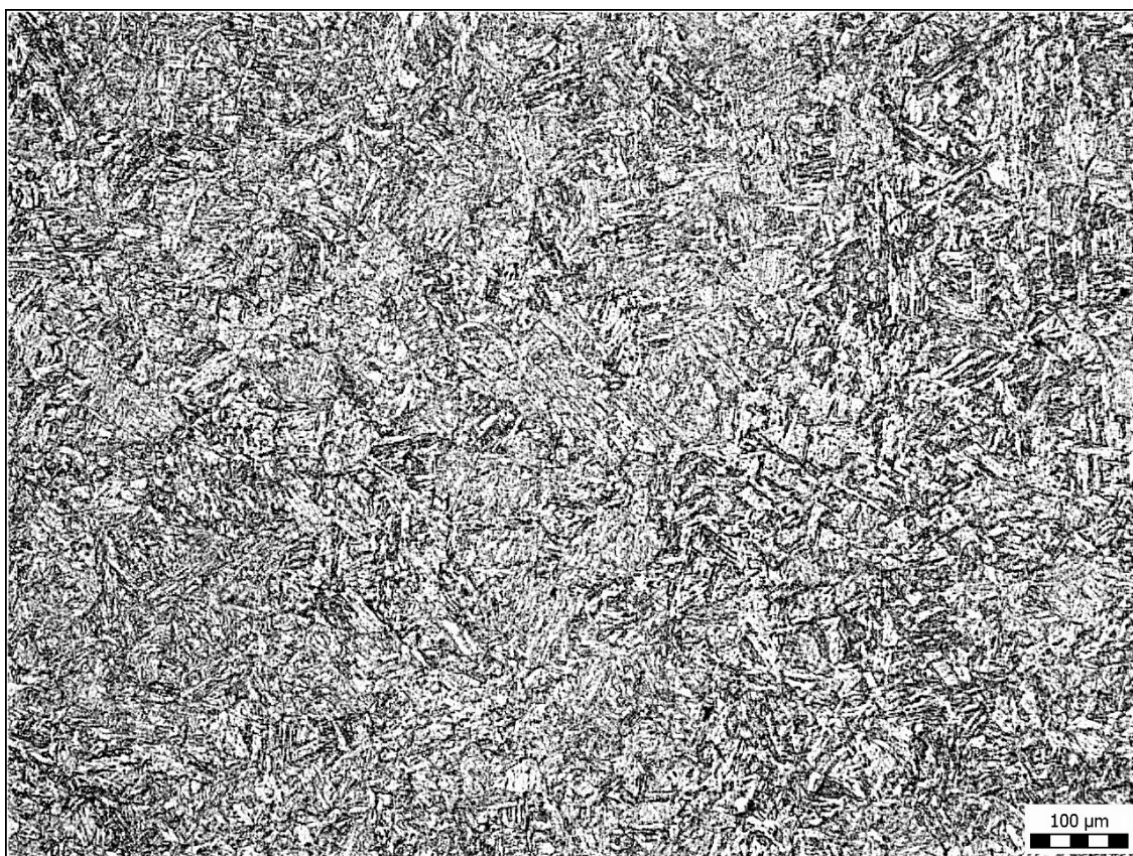
5. 6. 3 Mikrostruktura vzorku č. 22 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 4 h



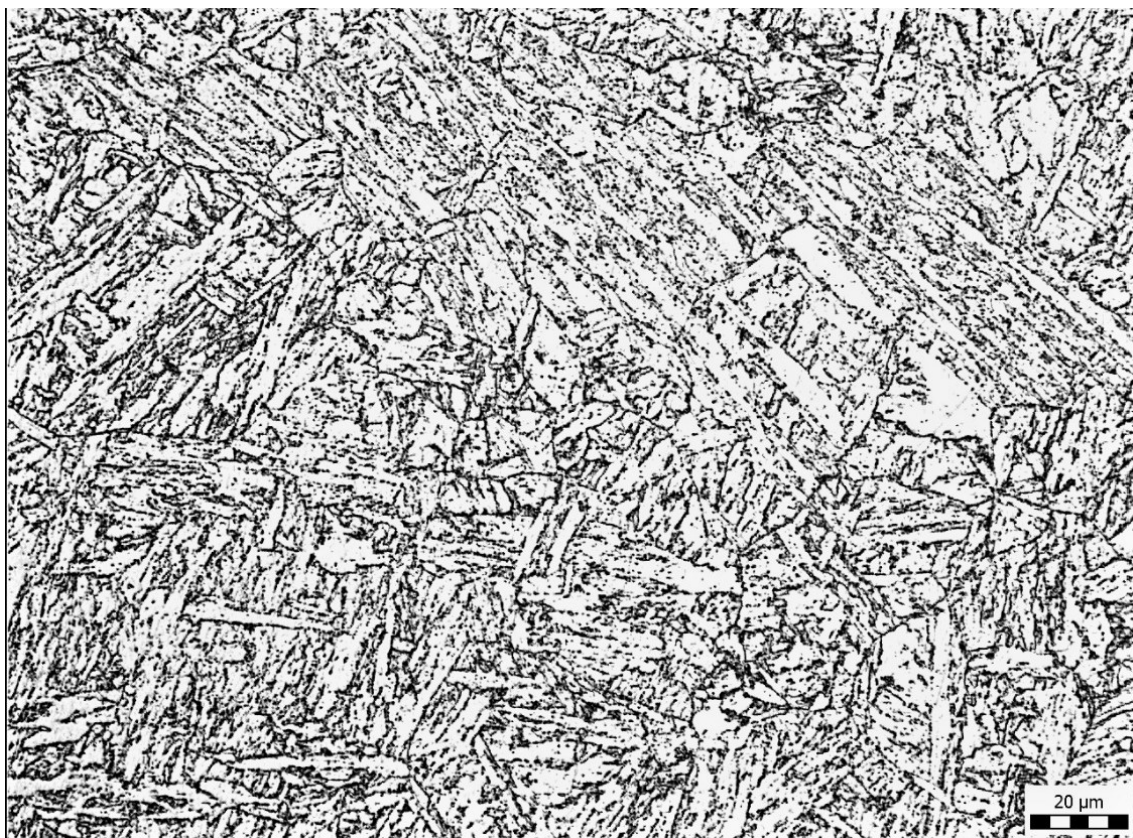
Obr. č. 32 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 100x



Obr. č. 33 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 500x

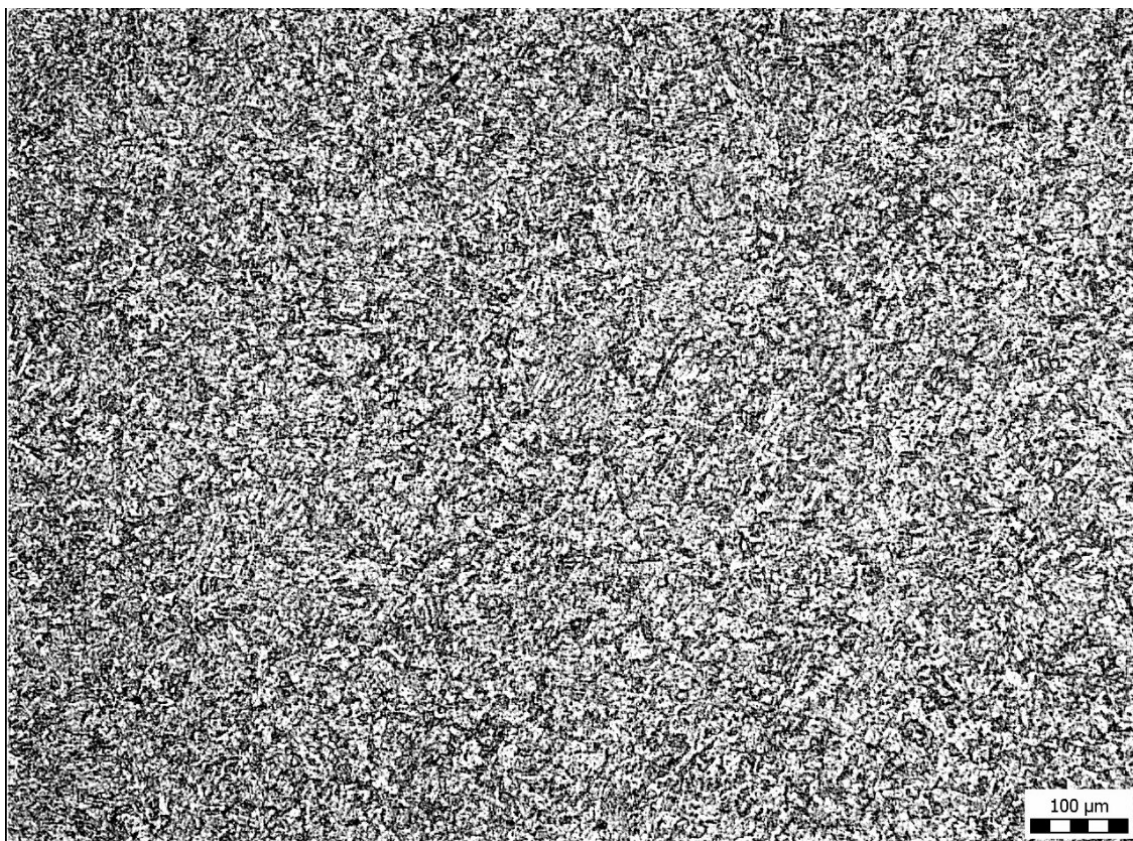


Obr. č. 34 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 100x

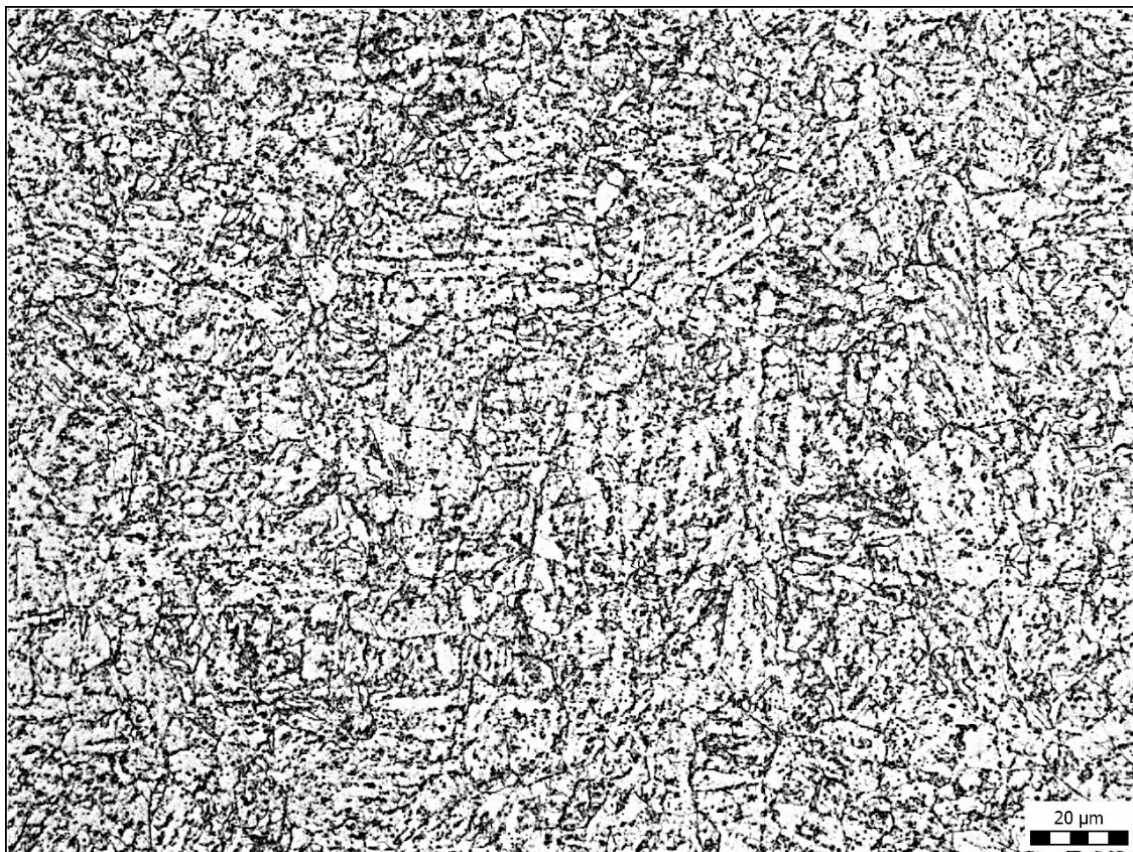


Obr. č. 35 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 500x

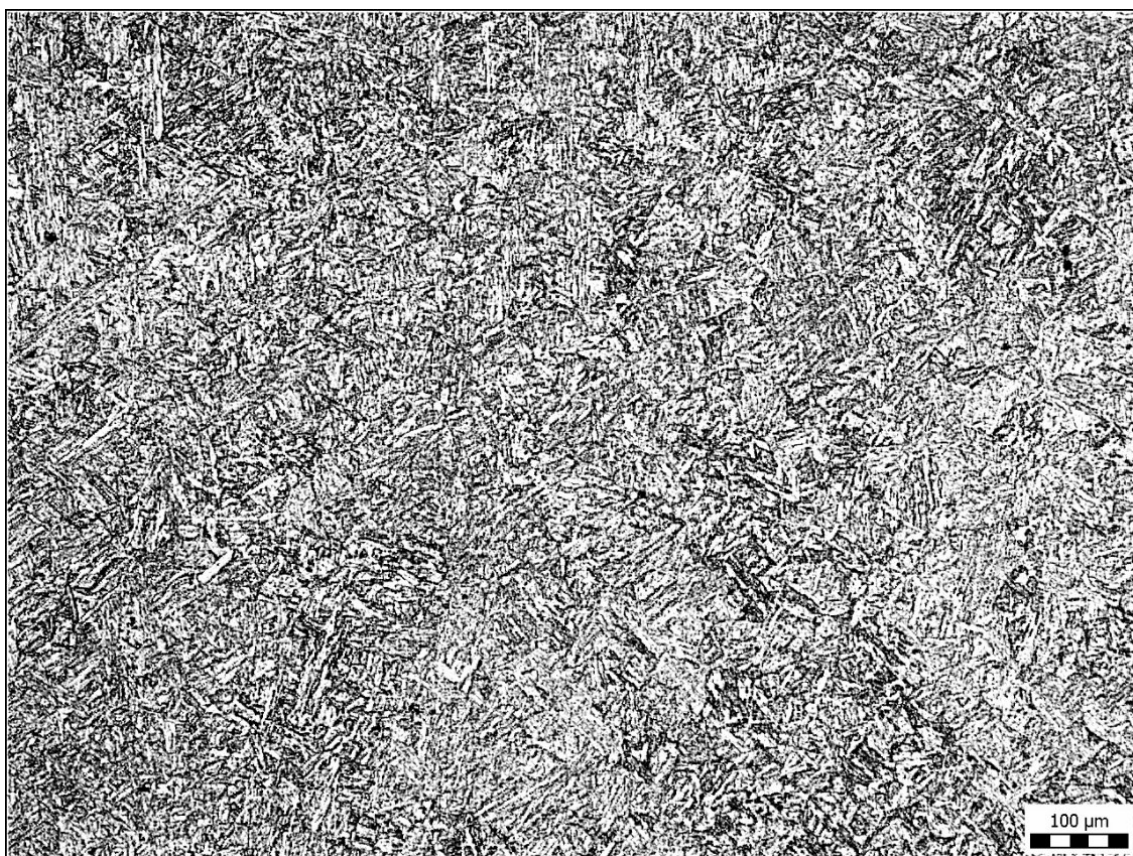
5. 6. 4 Mikrostruktura vzorku č. 6 – tepelné zpracování při 760°C po dobu 6 h



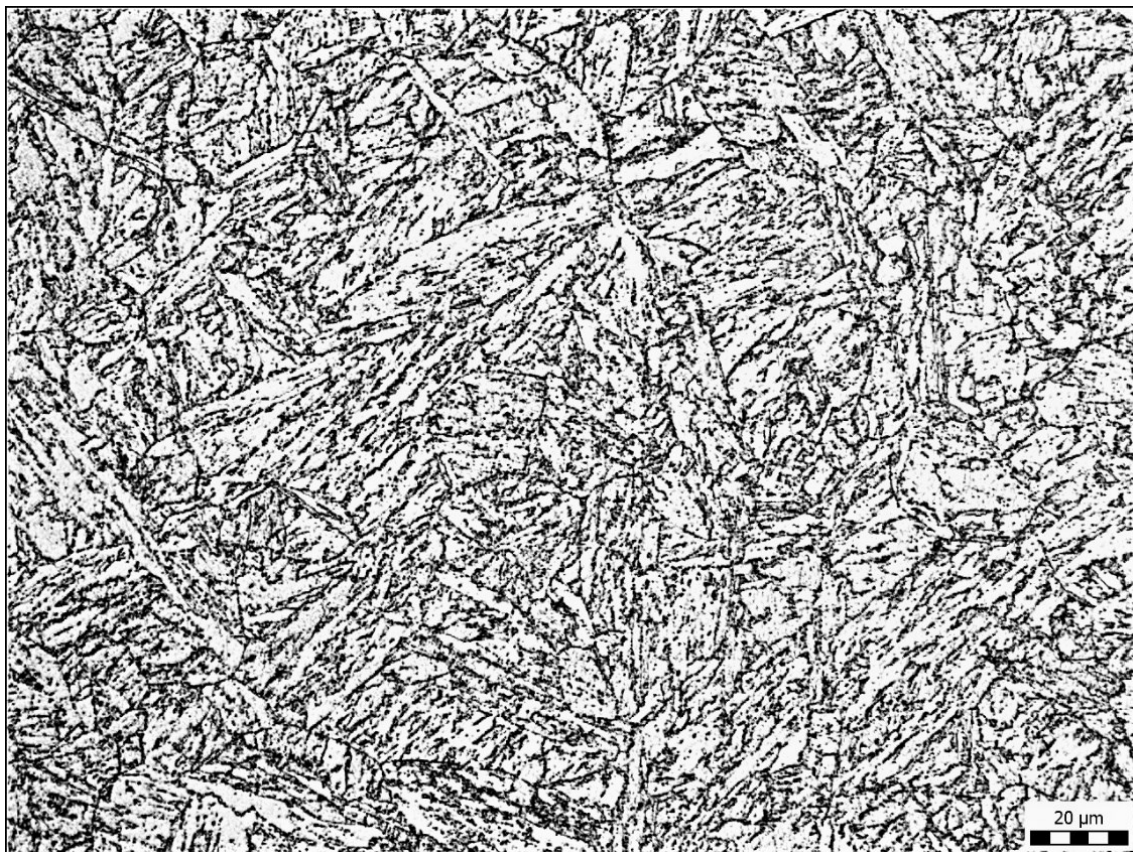
Obr. č. 36 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 100x



Obr. č. 37 – Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti – zvětšení 500x



Obr. č. 38 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 100x



Obr. č. 39 – Mikrostruktura základního materiálu – zvětšení 500x

5. 6. 5 Vyhodnocení mikrostruktury

Při srovnání výsledků kontroly mikrostruktury je jasně vidět strukturní podobnost v jednotlivých zónách materiálu. V obou případech, tedy v tepelně ovlivněné oblasti a v základním materiálu, u kterých byla kontrola mikrostruktury provedena, je viditelný popouštěný martenzit.

Ze všech snímků tepelně ovlivněné oblasti je jasně patrné, že struktura této oblasti je jemnozrná. Mikrostrukturu tvoří popouštěná, zakalená struktura neboli sorbit. Z kontroly také vyplývá, že čím delší je doba žíhání, tím je kolagulace (zaoblení) karbidů výraznější.

V základním materiálu je vidět, že při popouštění došlo k rozpadu struktury. V mikrostruktuře jsou jasně patrné karbidy.

6. Závěr

První část této práce se zabývá ocelí P92. Tu řadíme mezi špičkové žárupevné oceli, pro použití v energetickém průmyslu. Dalším tématem, kterým se tato práce zabývá, jsou tepelné simulátory. Jeden z uvedených simulátorů se nachází na VŠB – TU v Ostravě a druhý na Západočeské univerzitě v Plzni. Třetím uvedený simulátor je značky GLEEBLE 3800-GTC nabízený společností Dynamic Systems Inc. Poslední téma, popisované v této části práce je studie svařovací metody 141.

V experimentální části pak byla provedena simulace tepelně ovlivněné oblasti na 24 vzorcích z oceli P92. Vzorky se následně tepelně zpracovaly při teplotě 760°C po dobu od 1 do 2, 3, 4, a 6 hodin.

Na takto připravených vzorcích byla provedena zkouška rázem v ohybu. Při porovnání výsledných hodnot s hodnotami reálného svaru a starších simulovaných vzorků byl zjištěn stejný trend jednotlivých křivek.

Další zkouškou provedenou na těchto vzorcích byla zkouška tvrdosti metodou HV10, provedená v tepelně ovlivněné oblasti. Výsledné hodnoty byly porovnány s hodnotami reálného svaru a s hodnotami dřívějších simulací. Z tohoto srovnání je jasné patrné, že trend křivek je nejen stejný, ale výsledné hodnoty jsou velmi podobné.

Nakonec byla u vybraných vzorků provedena kontrola makrostruktury a mikrostruktury. Mikrostruktura středu ovlivněné zóny odpovídá pásnu normalizace tepelně ovlivněné oblasti. V ní je vidět velice jemná popouštěná, zakalená struktura neboli sorbit. Z výsledků kontroly mikrostruktury vyplývá, že s prodlužující se dobou žíhání je kolagulace či zaoblení karbidů výraznější.

Z výsledků zkoušek diplomové práce je tak zřejmé, že použití teplotních simulátorů je vhodné a perspektivní nejen pro ocel P92, ale i pro další oceli a neželezné kovy. Teplotní simulátory nám zajišťují opakovatelnost výsledků, přičemž můžeme studovat mnohem větší objem materiálu, než nám umožňuje tepelně ovlivněná oblast reálného svaru.

Poděkování

Na závěr bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Mohylovi, PhD. za vedení, konzultace a cenné připomínky. Velké díky patří také mé rodině a přáteli, kteří mě po celou dobu podporovali.

Bc. Zuzana Sojáková

7. Použitá literatura

- [1] SBORNÍK PŘEDNÁŠEK.: *Nové materiály technologie a zařízení pro svařování:10. ročník odborného semináře*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1573-2.
- [2] JONŠTA, Zdeněk, HERNAS, Adam, TVRDÝ, M, ČÍŽEK, L, PURMENSKÝ, J. *Žárupevné oceli a slitiny*. Žilina: ZUSI, 2002. 389 s. ISBN 80-968-6056-9.
- [3] RICHARDOT D.; VAILLANT, J. C.; ARBAB, A.; BENDICK, W. *The T92/P92 Book*. Düsseldorf: Vallourec & Mannesmann Tubes, 2000, 68 s.
- [4] ZHANG, Z., HOLLOWAY, G., MARSHALL, A.: *Properties of T/P92 steel metals for ultra super critical (USC) power plant*. [online]. [cit. 2018-27-2]. Dostupné na WWW. <http://nickelalloys.com.br/Metrode%20CD%202011/Technical%20Literature/CrMo%20-%20P92/P92%20paper-IIW%20Conference-Graz.pdf>
- [5] MOHYLA, Petr. *Výzkum mechanických vlastností svarových spojů modifikovaných žáropevných ocelí T24 a P92*. [online]. Flasch Steel Power a.s 2013 [cit. 2018-27-2]. Dostupné z. <http://docplayer.cz/8934144-Vyzkum-mechanickych-vlastnosti-svarovych-spoju-modifikovanych-zaropevnych-oceli-t24-a-p92-ing-petr-mohyla-ph-d.html>
- [6] HERNAS, Adam, JONŠTA, Zdeněk, TVRDÝ M., ČÍŽEK, I., PURMENSKÝ, J.: *Žárupevné oceli a slitiny*. Žilina: ZUSI, 2002. 389 s. ISBN 80-968-6056-9.
- [7] KREJČÍ, L. Vlastnosti heterogenních svarových spojů žáropevných ocelí. In: *Nové materiály, technologie a zařízení pro svařování: 11. ročník odborného semináře*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008, s. 205-210. ISBN 978-80-248-1825-2.
- [8] VODÁREK, Vlastimil. *Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12) %Cr oceli*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2003, 163 s. ISBN 80-248-0329-1.
- [9] ENNIS, P. J.; CZYRSKA-FILEMONOWICZ, A. *Recent Advances in Creep Resistant Steels for Power Plant Applications*. [online]. Polsko 2002 [cit. 2018-25-3]. Dostupné z. <http://www.ommi.co.uk/PDF/Articles/32.pdf>

- [10] ŁOMOZIK, Mirosław, ZEMAN, M, BRÓZDA, J. *Modern martensitic steels for power industry*. [online]. Polsko 2012 [cit. 2018-10-3]. Dostupné z. https://www.researchgate.net/profile/Mirosław_Lomozik/publication/257677603_Modern_martensitic_steels_for_power_industry/links/5a8e6859a6fdcc808c0f306b/Modern-martensitic-steels-for-power-industry.pdf?origin=publication_list
- [11] KOUKAL, Jaroslav, SCHWARZ, Drahomír, SONDEL, Martin, HAJDÍK, Jiří. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů, 9 %Cr modifikovaných žárupevných ocelí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2011, 92 s. ISBN 978-80-248-2474-1.
- [12] MAZANCOVÁ Eva. *Technické materiály I. Kovové materiály*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012, 151 s. ISBN 978-80-248-2577-9
- [13] *Aplikační omezení žárovevné oceli P92*. [online]. 2009 [cit. 2018-15-3]. Dostupné z. <http://www.allforpower.cz/clanek/aplikacni-omezeni-zaropevne-oceli-p92/>
- [14] HAJDÍK, Jiří. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů 9÷12 % Cr modifikovaných žárupevných ocelí: autoreferát doktorské disertační práce*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2011, 36 s. ISBN 978-80-248-2471-0.
- [15] SZTEFEK, Radek. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů oceli T24 (7CrMoVTiB10-10, 1.7378)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2014, 56 s. ISBN 978-80-248-3455-9.
- [16] KOUKAL, Jaroslav, SCHWARZ, Drahomír, HAJDÍK, Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [17] HAJDÍK, Jiří, SONDEL, Martin, SCHWARZ, Drahomír. *Nadstandardní požadavky na ověření vlastností svarových spojů při kvalifikaci postupů svařování*. In Sborník přednášek 12. Ročník odborného semináře Nové materiály, technologie a zařízení pro svařování, 2009, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava 2009, s 149-166. ISBN 978-80-248-2066-8.
- [17] *Nízkolegované ocele odolné proti tečení*. [online]. [cit. 2018-15-3]. Dostupné z. http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_14_Ocele_odoln%C3%A9_vo%C3%A8te%C3%A8eniu.pdf

- [19] VODÁREK, Vlastimil a BRYCHTOVÁ, N. *Mikrostrukturní rozbor prasklé creepové zkoušky DH11 homogenního svarového spoje z oceli P92: Technická zpráva*. Ostrava, 2014
- [20] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [21] MOHYLA, Petr, HAVELKA, Lukáš, STERNADELOVÁ, Krystýna. *Oceli pro nadkritické bloky tepelných elektráren a jejich svařitelnost*. [online]. Flasch Steel Power, a.s. Ostrava, 2014 [cit. 2018-15-3]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/flash.pdf>
- [22] KOUKAL, Jaroslav. *Úvod do problematiky svařování vybraných materiálů v energetice*. Zvaranie – Svařování. 2012, roč. 61 č. 5-6, s. 99-104. ISSN 0044-5525.
- [23] HAVLAS, Drahošlav. *Techniky svařování*. [online]. Evropský sociální fond [cit. 2018-17-3]. Dostupné z. http://www.hkprerov.cz/upload/image/studijni_text_-_techniky_svarovani.pdf
- [24] *Příručka svářeče pro svařování v ochranné atmosféře a tepelné dělení plamenem*. [online]. AIR PRODUCTS spol. s.r.o. [cit. 2018-17-3]. Dostupné z. http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=cs-CZ
- [25] HLAVATÝ Ivo. *Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG (TIG) – 141* [online]. VŠB - TU Ostrava 2011 [cit. 2018-16-3]. Dostupné z. <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/09-141.pdf>
- [26] BARTOŠ, Jaroslav. *Základní kurz svařování metodou 111*. Ostrava: ZEROSS, 2008. 196 s. ISBN 80-86698-10-6.
- [27] Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: ZEROSS, 2001. 148s. ISBN 80-85771-81-0.
- [28] *Návod k obsluze teplotního simulátoru*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 19 s.

- [29] *Laboratoř experimentálního tváření. Regionální technologický institut.* [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2018-16-3] Dostupné z file:///C:/Users/Zuzka/Downloads/Poster_LET_CZ-HJ-p.pdf
- [30] DANĚK, L. Svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře: Přednáška k předmětu Teorie a technologie svařování. Brno, 2016.
- [31] Gleeble 3800-GTC. [online]. Dynamic Systems Inc. Copyright 2018 [cit. 2018-27-3]. Dostupné z. <https://www.bleeble.com/products/gleeble-systems/gleeble-3800.html>
- [32] KÁŇA, Josef, VOREL, Ivan, RONEŠOVÁ, Andrea. Simulator of thermomechanical treatment of metals. [online]. DAAAM International 2016 [cit. 2018-27-3]. Dostupné z. http://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2015/069.pdf
- [33] MOHYLA, Petr, HLAVATÝ, Ivo, HRUBÝ, Jiří, KREJČÍ, Lucie. *Investigation of Heat Affected Zone of Steel P92 Using the Thermal Cycle Simulator.* World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Materials and Metallurgical Engineering, 2017.

8. Seznam příloh

Příloha A – Tavba číslo 54380 oceli P92

Příloha A - Tavba číslo 54380 oceli P92



Str.: 1 / 1 Rev.: 0
Page: Rev.:

zkušební laboratoř č. 1036 akreditovaná ČIA

Ke zkuš. listu : To testing form No.:	183518	Datum přijetí : Date of receipt :	22.08.2013	Zákazník : Customer : Flash Steel Power, a.s. Martinovská 3168/48 723 00 Ostrava, Martinov Ing. Foldynová Kristýna
Zakázka č. : Shop order No.:		Číslo tavby : Heat No. :	54380	
Výrobek : Product :	148x30x23 mm	Norma : Standard :		
Objednávka č. : Purchase order No. :		Jakost : Quality :	P92	

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ č. : 2013 / 38963

Test Report Nr. :

ROZBOR CHEMICKÉHO SLOŽENÍ - kontrolní Chemical analysis - check

Vzorek Sample	Čís.vz. Nr.	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Ni %	Cr %	Mo %	V %	Ti %	W %
H03380	1	0,109	0,44	0,30	0,016	0,0026	0,288	8,860	0,404	0,191	<0,004	1,690
Vzorek Sample	Čís.vz. Nr.	Al-c %	Nb %	B %	N %							
H03380	1	0,011	0,049	0,0033	0,0481							

Číslo zkoušky : Test number :	Identifikace metody : Method identification :	Prvek : Element :	Přístroj : Instrument :	Zkoušel : Tested by :
102	QI-VTC.10 GEN-0002	C, S	CS-444 ev.č. 946.10/013	CMI
101a	QI-VTC.10 GEN-0001	Mn, Si, P, Ni, Cr, Mo, V, Ti, W, Al-c, Nb, B	Spectrolab 2000 ev.č. 946.10/017	CMI
102	QI-VTC.10 GEN-0003	N	TC-436 ev.č. 946.10/008	CMI

<div>Prohlášení :</div> <div>Dosažené výsledky se týkají pouze zkušebního vzorku. Zkušebna neodpovídá za odběr zkušebního vzorku. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak s písemným souhlasem zkušebny.</div> <div>Statement :</div> <div>The test results relate only to the sample. Chemical laboratory does not take the responsibility for the sample taking. The report shall not be reproduced except in full without the written approval of the chemical laboratory.</div>	<div></div>	Datum zkoušení : 22.08.2013		Ident : 200590725	
		Shop order No. :		Ident:	
		Jméno/Tel : Name/Tel :		Funkce : Position :	Podpis/Datum : Signature /Date :
		Vystavil : Prepared:	Folvarčná 59 595 5483	pověřený pracovník Entrusted person :	 22.08.2013
		Kontrol : Checked :	Ing. Cigánová 59 595 7761	vedoucí úseku FCHZ CHL Department Manager	 22.08.2013
	Schválil : Approved :	Ing. Merta 59 595 7761	vedoucí FCHZ CHL Manager	 22.08.2013	

Datum tisku: 22.08.2013 11:57:13

Id: 193899

Zdroj: PROT_CH_HV



(A01) ŽDAS, a.s.

Strojírenská 6

591 71 ŽDÁR NAD SÁZAVOU

(A02) Inspekční certifikát EN 10 204 3.1

MOJ06

Protokol č.: (A03) 7829/2012

Obsah dokumentu dle EN 10168

Datum: (Z02) 18.12.2012

ŽDAS, a.s. je certifikován společností TÜV NORD v systémech:

ISO 9001:2008 (No. 04100934025)
ISO 14001:2004 (No. 04104059016)
OHSAS 18001:2007 (No. 04116059005)
QS-Systém podle směrnice 97/23/EG příloha I, Kap. 4.3
(No. 07-202-1413-ZW-1125/08)
AD 2000-Merkblatt W0 (No. 07-202-1413-WP-1125/08)

Flash Steel Power, a.s.

Martinovská 3168/48

723 00 Ostrava, Martinov

ČESKO

Inspekční certifikát EN 10 204 3.1

Stran: 1

(A08) Zakázka K-398-0357	(A09) B.č. 1	(A07) Objednávka 159596	(A06) Objednavatel FLASH STEEL POWER Ostrava - Martinov
(A11) Výkres D520X1500-KOV	(B03) Název Překování	(B01) Typ výrobku Překování	(B12) Hmot. /01.02.2008
(B02) Materiál X10CrWMoVNB9-2	(B04) 6	(A10) Norma EN10216-2	(B14) /01.02.2008
(B07) Tavnice 54380	(C70) Druh výroby 649535	(B07) Pořadová čísla 649535	Počet kusů (B08) 1

(Z01) Výrobce prohlašuje, že výrobky jsou ve shodě s kupní smlouvou 107868/2012-KOV
a jinými technickými dokumenty :

Přílohy:

Protokol o mechanických zkouškách 4751/2012
Protokol o měření tvrdosti 4088/2012
Protokol o tepelném zpracování 4078/2012

Výsledek zkoušky : vyhovuje	(Z03) ŽDAS, a.s. Ždár nad Sázavou DIČ CZ45347160 IČ 46347160 * 100 *	(Z03) Schválil Stehno Radim firemní přejímač
vypracoval Havlová Jaroslava		Radim Stehno

(A08)Zakázka K-398-0357	B.č. 1	(A07)Objednávka 159596	(A06)Zákazník FLASH STEEL POWER Ostrava - Martinov
Výkres D520X1500-KOV	(B01)Název	(B02)Materiál X10CrWMoVNb9-2	
(B07)Pořadová čísla 649535			

Protokol o mechanických zkouškách

(C00)Vzorek 649535.1	732	(C02)Směr Podélná	(B07)Tavba 54380
-------------------------	-----	----------------------	---------------------

Zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-1	(C03)Teplota:	20 °C	Zkouška č.: 149162
				Datum: 19.12.2012
předepsáno	(C11)Rp0,2 >440 MPa	(C12)Rm620-850 MPa	(C13)A5 > 19 % Z %	1x do 10.00mm
zjištěno	484 MPa	676 MPa	23.4 % 61.6 %	

Zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-2	(C03)Teplota:	350 °C	Zkouška č.: 149163
				Datum: 19.12.2012
předepsáno	(C11)Rp0,2 >382 MPa	(C12)Rm MPa	(C13)A5 Z %	1x do 10.00mm
zjištěno	418 MPa	551 MPa	21.2 % 67.5 %	

Zkouška rázem v ohybu	ČSN ISO 148-1	(C03)Teplota:	20 °C	Zkouška č.: 149164
				Datum: 19.12.2012
předepsáno	3xKV K> (C42)68 J (C43)KC (C42)(C43)Sh			delta b
zjištěno	133 J	166 J/cm2		
zjištěno	141 J	176 J/cm2		
zjištěno	125 J 133.0	156 J/cm2 166.0		

(C00)Vzorek 649535.2	734	(C02)Směr Příčná	(B07)Tavba 54380
-------------------------	-----	---------------------	---------------------

Zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-1	(C03)Teplota:	20 °C	Zkouška č.: 149168
				Datum: 19.12.2012
předepsáno	(C11)Rp0,2 >440 MPa	(C12)Rm620-850 MPa	(C13)A5 > 17 % Z %	1x do 10.00mm
zjištěno	477 MPa	667 MPa	24.4 % 62.8 %	

Zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-2	(C03)Teplota:	350 °C	Zkouška č.: 149169
				Datum: 19.12.2012
předepsáno	(C11)Rp0,2 >382 MPa	(C12)Rm MPa	(C13)A5 Z %	1x do 10.00mm
zjištěno	410 MPa	531 MPa	18.8 % 62.8 %	

Výsledek zkoušky	vyhovuje	Strana: 1 / 2
provedl Gregorová Zdeňka	ZDAS ŽDAS, a.s. Ždár nad Sázavou DIČ CZ46347160 IČ 46347160 * 100 *	(Z03)Schválil Stehno Radim firemní přejímač

Zkouška rázem v ohybu		ČSN ISO 148-1		(C03) Teplota:	20 °C	Zkouška č.: 149170
						Datum: 19.12.2012
předepsáno	3 x KV	K>	(C42) 41 J	(C43) KC	(C42) (C43) Sh	delta b
zjištěno			115 J		144 J/cm2	
zjištěno			112 J		140 J/cm2	
zjištěno			100 J	109.0	125 J/cm2 136.3	

Výsledek zkoušky		vyhovuje		Strana: 2 / 2	
provedl		 ŽDAS, a.s. Ždár nad Sázavou DIČ CZ46347180 IČ 46347180 * 100 *	(Z03) Schválil	Stehno Radim firemní příjemce	
Gregorová Zdeňka					



(A01) ŽDAS, a.s.

Strojírenská 6

591 71 ŽDÁR NAD SÁZAVOU

(A02) Inspekční certifikát EN 10 204 3.1

MOJ56

DNE: (Z02) 18.12.2012

Číslo: (A03) 4088/2012

(A08) Zakázka	B.č.	(A07) Objednávka	(A06) Zákazník
K-398-0357	1	159596	FLASH STEEL POWER, Ostrava - Martinov
Výkres	(B01) Název		(B02) Materiál
D520X1500-KOV			X10CrWMoVNB9-2

Protokol o měření tvrdosti

(C30)

Předpis : 2 x HB min. 185 max. 260 100 % ks z tavby

Měřidlo : -

zjištěno :

Číslo výkovku	Tavba	(C32)	(C31)	1.	2.
649535	54380	220.0	214	226	

Výsledek zkoušky	vyhovuje	Strana: 1 / 1
provedl Toman Radek	 ZDAS ŽDAS, a.s. Ždár nad Sázavou DIČ CZ48347180 IČ 48347180 * 100 *	(Z03) Schválil Stehno Radim firemní příjemce

(A08)Zakázka K-398-0357	B.č. 1	(A07)Objednávka 159596	(A06)Zákazník FLASH STEEL POWER Ostrava - Martinov
Výkres D520X1500-KOV	(B01)Název	(B02)Materiál X10CrWMoVNb9-2	

Protokol o tepelném zpracování

(B07)Tavba 54380	(B07)Pořadová čísla 649535
---------------------	-------------------------------

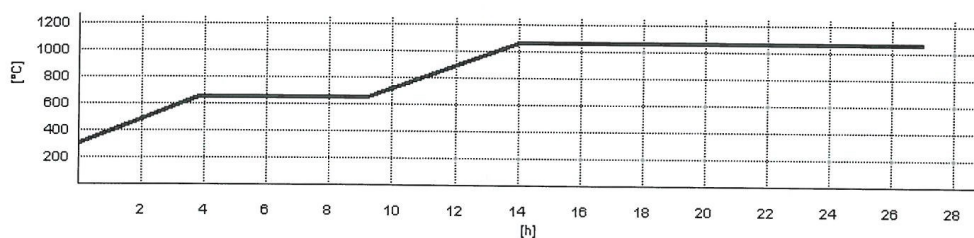
Kalení

Číslo diagramu : 6012417

055/1212

Datum : 10.12.2012

Pořadová čísla : 649535



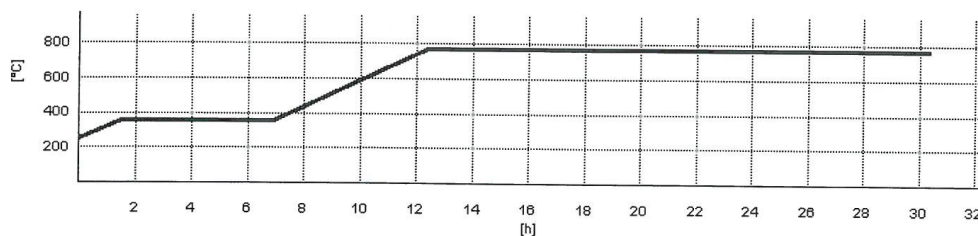
Popouštění

Číslo diagramu : 6012417

055/1212

Datum : 10.12.2012

Pořadová čísla : 649535



Výsledek zkoušky	vyhovuje	Strana: 1 / 1
provedl Havlová Jaroslava	(Z03) ZDAS ŽDAS, a.s. Ždár nad Sázavou DIČ CZ46347180 IČ 46347180 * 100 *	(Z03)Schválil Stehno Radim firemní příjemce